

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**DESARROLLO HIDROGEOLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO DE LA
MISIÓN, BAJA CALIFORNIA**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

ISAAC ANTUNA IBARRA

Ensenada, Baja California, México, Agosto de 2005.

TESIS DEFENDIDA POR
Isaac Antuna Ibarra
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. Thomas Gunther Kretzschmar Steinle

Director del Comité

Dr. Jesús Arturo Martín Barajas

Miembro del Comité

Dr. Rogelio Vázquez González

Miembro del Comité

Dr. Stephen Vaughan Smith Watkins

Miembro del Comité

Dr. Víctor Wong Ortega

*Coordinador del programa en
Ciencias de la Tierra*

Dr. Raúl Castro Escamilla

Director de Estudios de Posgrado

5 de agosto de 2005

RESUMEN de la tesis de **Isaac Antuna Ibarra**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en CIENCIAS DE LA TIERRA. Ensenada, Baja California. Agosto de 2005.

DESARROLLO HIDROGEOLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO DEL ACUÍFERO DE LA MISIÓN, BAJA CALIFORNIA.

Resumen aprobado por:

Dr. Thomas G. Kretzschmar Steinle
Director de Tesis

El acuífero de La Misión representa la desembocadura principal de la cuenca del arroyo Guadalupe en Baja California hacia el océano Pacífico y ha sido fuente de abastecimiento de agua para algunas poblaciones del estado. La sobreexplotación de agua puede provocar el avance de la intrusión salina y la extracción desmedida de arenas expone al acuífero al deterioro químico debido a evaporación.

Se realizó un monitoreo en 23 sitios del acuífero desde octubre de 2003 hasta julio de 2004 para observar su comportamiento hidrogeoquímico *in situ* (mediciones de pH, CE, SDT y alcalinidad como HCO_3^-) y en laboratorio, en donde se analizaron muestras de agua con cromatografía de iones (IC) para obtener el contenido de los aniones (principalmente F^- , Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-}) y con espectrometría de emisión de plasma (ICP) para medir el contenido de otros elementos (principalmente Na, Ca, Mg, K, Si, B, Fe, Sr y Li).

El acuífero se compone de agua salobre ($\text{SDT} > 1000 \text{ mg/l}$) y en las lagunas más cercanas a la costa presentó características de agua salina ($\text{SDT} > 10000 \text{ mg/l}$). A su vez, los pozos de CESPE mostraron calidad de agua potable ($\text{SDT} < 1000 \text{ mg/l}$).

Se observó un deterioro hidrogeoquímico con el tiempo al presentar evidencias químicas de intrusión salina (como enriquecimiento de Ca) y de deterioro por evaporación en muestras de sitios a más de 2000 m de la costa (de acuerdo con la relación $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$).

El agua muestreada de pozos y norias presentó carácter Cl-catión mezclado, mientras que la de los pozos de CESPE y lagunas mostró composición Cl-Na. El contenido de aniones y metales rebasaron en la mayoría de los casos los límites establecidos por la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En las muestras de pozos de CESPE, los tiempos de residencia en el acuífero fueron más altos que en el resto de los sitios, de acuerdo con el comportamiento del contenido de Li. Además se observó una posible fuente de agua de mejor calidad que alimenta a varios pozos particulares a través de fracturas en la roca al presentar enriquecimiento de HCO_3^- y Na.

Palabras clave: Acuífero La Misión, Intrusión salina, Deterioro de calidad hidrogeoquímica, Acuífero costero, Evaporación de agua.

ABSTRACT of the thesis presented by **Isaac Antuna Ibarra** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in EARTH SCIENCES. Ensenada, Baja California, Mexico. August 2005.

HYDROGEOLOGIC AND HYDROGEOCHEMICAL DEVELOPMENT OF LA MISION AQUIFER, BAJA CALIFORNIA

La Mision aquifer represents the outlet of the Guadalupe River Basin in Baja California to the Pacific Ocean and has been a water supply for some of the cities in the state. Water overexploitation may cause an advance of salt-water intrusion, and excessive extraction of alluvial sands exposes the aquifer to chemical deterioration due to evaporation.

An aquifer monitoring was made from October of 2003 to July of 2004 in order to observe its *in situ* (pH, EC, TDS, and alkalinity as HCO_3^- measurements) and laboratory hydrogeochemical behavior. Water samples were analyzed by ion chromatography (IC) to measure anion content (mainly F^- , Cl^- , NO_3^- , and SO_4^{2-}) and by plasma emission spectrometry (IC-OES) to measure cation concentration (mainly Na, Ca, Mg, K, Si, B, Fe, Sr, and Li).

The aquifer is of brackish quality ($\text{TDS} > 1000 \text{ mg/l}$) but in lagoons nearest to the coast the aquifer presented a saline water composition ($\text{TDS} > 10000 \text{ mg/l}$). CESPE wells showed potable water quality ($\text{TDS} < 1000 \text{ mg/l}$).

Hydrogeochemical deterioration within the sampling period was observed, which consisted in chemical evidences for salt-water intrusion (by means of Ca enrichment) as well as deterioration due to evaporation in water samples collected beyond 2000 m from the ocean (according to ratio $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$).

Water sampled from wells presented Cl-mixed cation composition, whereas CESPE wells and lagoons showed Cl-Na composition. In most of the water samples anionic and metallic elements were present in concentrations higher than the Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) and the World Health Organization (WHO) water quality limits.

In CESPE water samples and according to Li content behavior, residence times within the aquifer were higher than those from other sampling sites. Also, a possible fresher source of water was observed, which is feeding and enriching with HCO_3^- and Na several wells through rock fractures.

Keywords: La Mision aquifer, Salt-water intrusion, Hydrogeochemical quality deterioration, Coastal aquifer, Water evaporation.

DEDICATORIA:

a mis papás, Eduardo y Lupita, que continúan brindándome todo su apoyo y cariño; a 3 años y a mayor distancia física desde la última vez, les dedico los pequeños frutos de esta nueva aventura, que sin ustedes nunca hubiera sido...

a mis hermanos, Eduardo, Sergio y Daniel, por sólo ser y ayudarme a ser lo que soy: una amalgama de todos...

y a ti, Cori, que junto con la Natita ahora son mi nueva familia; por lo que me has ayudado ha conseguir en esta más larga etapa de nuestras vidas, agradezco de nuevo tu fortaleza, tu amor y tu apoyo incondicional ∞...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la naturaleza, a sus implacables fuerzas y a sus admirables formas, por existir y por hacer que la vida sea tan hermosa y siempre llena de sorpresas. Gracias también a nuestra naturaleza humana por no permitir que me insensibilice ante sus maravillas.

A mis padres y a mis hermanos que siempre me han tendido su mano en los caminos que he elegido, además sin ellos mi existencia no sería siquiera un pensamiento.

A mi nueva familia, Cori y Nata, lo más importante de mi vida.

A mi otra familia, Dina, Don Eliseo y Karla, por seguir siéndolo.

Al CONACYT y su apoyo económico para lograr el posgrado.

A mi asesor, el Dr. Thomas Kretzschmar, por guiarme en la realización de este trabajo. También al CICESE y a la División de Ciencias de la Tierra por brindarme los principales medios para terminar mi tesis.

Al Ing. Rufino García y a los M. en C. Alejandro Kurczyn, Rubén Campos, Martín Pacheco y Ricardo Antonio por ayudarme con los trabajos de campo y evitar las casi ineludibles ocasiones de tedio.

A los tan queridos y alivianados (y a veces no tanto) amigos y miembros de las caballerizas, aquellos con quienes todo resultó más placentero en el posgrado: los M. en C. Martín Pacheco, Ricardo Guzmán (Carpio), Minerva López (Mine), Alejandro Kurczyn, Juan Carlos Cerda (Juanx), Almendra Villela (Almond) y Edgardo Tejada (Edguas).

A los amigos y compañeros con quienes también compartí buenos momentos: los M. en C. Miguel Oliver y Gema Ibarra (alias Miguel, Gema y Miguelito), Jazmín Chávez, Euclides Ruiz, Adriana Arroyo, Olga Sarychikhina, Mónica Zegarra y a los casi M. en C. Carlos Méndez, Sebastián Ozuna y Armando Bejarano.

También a los amigos y compañeros más recientes: Selene Lino, Daniel Amaya, Aimée Orcí, Mathias Obrebsky, Abel Aco y Tomás Peña.

A los técnicos (y a veces rudos) de Ciencias de la Tierra: Jaime Calderón, Alejandro Díaz, Rufino García, Gabriel Rendón, Humberto Benítez, Susana Rosas y Victor Pérez, por su ayuda durante mi estancia en el CICESE.

A los miembros del comité de tesis: Dr. Arturo Martín, Dr. Rogelio Vázquez y Dr. Stephen Smith por sus acertados comentarios y recomendaciones.

A los profesores con quienes aprendí algunos detalles de las Ciencias de la Tierra: Marco Pérez, Francisco Suárez, Enrique Gómez y José Romo, entre otros.

Al Dr. Walter Daesslé del IIO de la UABC, quien siempre me facilitó amablemente su equipo de campo y laboratorio.

Y a los que no nombré, discúlpenme y gracias mil.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	xvi
LISTA DE FÓRMULAS Y ECUACIONES	xvii
 I. INTRODUCCIÓN	 1
I.1. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	2
I.2. TRABAJOS PREVIOS	5
I.3. OBJETIVOS	7
 II. METODOLOGÍA	 9
II.1. PARÁMETROS DE CAMPO	12
II.2. FASE DE LABORATORIO	14
 III. FISIOGRAFÍA Y CLIMA	 16
 IV. GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL	 19
 V. HIDROGEOLOGÍA	 22
 VI. RESULTADOS	 26
VI.1. RESULTADOS DE CAMPO	27
VI.1.1. Comportamiento Piezométrico	27

CONTENIDO (continuación)

VI.1.2.	Sólidos disueltos totales (SDT) y	
	Conductividad eléctrica (CE).....	32
VI.1.3.	pH y Temperatura	39
VII.	RESULTADOS DE LABORATORIO	43
VII.1.	ANIONES	44
VII.1.1.	Contenido de Aniones	46
VII.2.	ELEMENTOS ANALIZADOS CON ICP.....	52
VII.2.1.	Elementos Mayores Principales	53
VII.2.2.	Elementos Mayores Secundarios	57
VII.2.3.	Elementos Traza	63
VIII.	RELACIÓN DE RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	66
VIII.1.	DIAGRAMAS DE STIFF	66
VIII.2.	DIAGRAMAS DE PIPER	71
VIII.3.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y SUS RELACIONES	78
VIII.4.	PARES IÓNICOS Y OTRAS RELACIONES	82
IX.	CONCLUSIONES	91
	LITERATURA CITADA	94
	ANEXOS	100

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización del área de estudio (modificada de CESPE, 1997)	2
Figura 2. Modelo digital de elevación de la cuenca del arroyo Guadalupe (modificado de Kurczyn-Robledo, 2005) y límite de la subcuenca de La Misión (CNA, 2002). Se delimita también el área de estudio ..	3
Figura 3. Detalle topográfico del área de estudio (modificado de INEGI, 1976).....	4
Figura 4. Propuesta de localización del eje de la presa subterránea y posición de pozos de exploración usados en ese proyecto (CNA y JRC-Green, 2004)	7
Figura 5. Ubicación de sitios de muestreo en el área de tesis	10
Figura 6. (a) Varilla usada como testigo en el sitio LM14 y (b) nivel de referencia en el sitio LM17 utilizado para medir los cambios de nivel de agua. Las fotos corresponden al mes de octubre de 2003	11
Figura 7. Precipitación y evaporación acumulada mensualmente en la estación meteorológica de La Misión durante el período de muestreo y su equivalente en años anteriores. Se grafica también el acumulado en estos períodos con base en la escala secundaria de la derecha. Obsérvese que en el período de 2003 a 2004 se presentaron los valores acumulados más altos de evaporación y uno de los menores de precipitación (línea más oscura y texto en negrita) (datos de CNA, 2004 y 2005)	18
Figura 8. Estratigrafía general del noroeste de Baja Calif. (modificada de Yeo, 1984)	19
Figura 9. Mapa geológico del Valle de La Misión (modificado de INEGI, 1976)	21
Figura 10. Columna hidroestratigráfica esquematizada del área de La Misión ..	23

LISTA DE FIGURAS (continuación)

		Página
Figura 11.	Características hidrográficas generales del Valle de La Misión. Se muestran los arroyos por donde se da el escurrimiento al acuífero ...	24
Figura 12.	Sección hidrogeológica esquematizada del acuífero de La Misión localizada en el eje propuesto en la figura 4 (modificada de CNA y JRC-Green, 2004)	25
Figura 13.	Evolución del nivel estático relativo en los Pozos Particulares visitados. Es posible apreciar la disminución de nivel de agua hacia julio de 2004 y el cambio drástico de febrero a abril en LM04. Pozos ordenados de acuerdo con su distancia a la costa. Se señalan las fechas sin medición con la recta horizontal gruesa	28
Figura 14.	Evolución del nivel estático relativo en Norias. Se observa que también disminuyeron su nivel de agua hacia julio de 2004. Obsérvese el cambio drástico de LM16 en febrero y el aumento de nivel en LM07 durante la medición posterior a la lluvia (27 de febrero 2004). La recta horizontal gruesa marca las fechas sin medición	29
Figura 15.	Evolución del nivel relativo en Lagunas utilizando testigos. Se marcan las fechas en que las lagunas se secaron totalmente. Obsérvese que la laguna costera LM17 aumentó su nivel después de la lluvia de febrero. Las otras lagunas se secaron totalmente antes de terminar el muestreo	30
Figura 16.	Comportamiento del nivel de agua en el sitio del testigo LM13 durante octubre de 2003 (a) y julio de 2004 (b). Esta laguna es la que se encuentra más alejada de la costa (>5000 m)	31
Figura 17.	Evolución temporal del contenido de (a) SDT y (b) contenido de Cl ⁻ en Pozos y Norias. Se observa un ligero aumento de SDT y Cl ⁻ hacia mayo y julio de 2004 y una pequeña disminución en algunos de los sitios durante julio de 2004. Sobresale también el aumento drástico en LM23	33
Figura 18.	Evolución temporal del contenido de (a) SDT y (b) Cl ⁻ en Lagunas. Nótese la laguna costera LM17 que presentó en julio de 2004 contenidos de SDT y Cl ⁻ muy cercanos a los del mar. En (a) se	

LISTA DE FIGURAS (continuación)

	Página
marcan los límites de SDT para agua potable (1000 mg/l) y salobre (10000 mg/l)	34
Figura 19. Evolución temporal del contenido de (a) SDT y (b) Cl^- en Pozos de CESPE. En LM08 se observa un aumento con el tiempo. En todos los pozos se presentan los valores más pequeños durante febrero de 2004	36
Figura 20. Comportamiento de la concentración de SDT en relación a su distancia con la costa. A la izquierda del gráfico se ubican las lagunas LM17 y LM18 con los valores de SDT más altos mientras que a la derecha se presentan los SDT menores. El plano superior geo-referencia las muestras	37
Figura 21. Comportamiento de la concentración de cloruros (Cl^-) en relación a su distancia con la costa. Se aprecia una tendencia a disminuir el contenido al alejarse de la costa	38
Figura 22. Potenciales de hidrógeno en sitios muestreados. Se muestran sólo los sitios que presentaron las tendencias que son indicadas con flechas. Las flechas verticales señalan el cambio pronunciado de pH en febrero de 2004. Se señala también el rango de pH en agua continental y el promedio en agua marina (Hem, 1985; Langmuir, 1997). En cada tipo de sitio, las muestras a la izquierda están más cercanas al océano	39
Figura 23. Comportamiento del pH en relación a su distancia con la costa. Los valores de potencial de hidrógeno más elevados se presentaron en las lagunas cercanas a la costa, en donde $\text{pH} > 9$	40
Figura 24. Temperatura de las muestras de pozos particulares y norias (a) y lagunas (b) con respecto a la fecha de muestreo. Es visible el aumento de temperatura en las lagunas durante julio de 2004	41
Figura 25. Relación de la temperatura de las muestras con su distancia a la costa. Obsérvese las altas temperaturas de los pozos de CESPE. Las líneas representan el límite inferior (discontinua) y superior (continua) de cada tipo de sitio, identificado por los números de la leyenda	42

LISTA DE FIGURAS (continuación)

	Página
Figura 26. Valores de electroneutralidad promedio. Se muestra el rango y desviación estándar calculada para cada sitio de muestreo. De izquierda a derecha los sitios se van a alejando de la costa	44
Figura 27. Concentración de Cl^- y SO_4^{2-} de los sitios de muestreo con respecto a su distancia con la costa. Líneas continuas son los límites de la NOM	47
Figura 28. Concentración de F^- y HCO_3^- con respecto a la distancia con la costa. Se señalan los límites de la NOM	48
Figura 29. Relación entre el contenido de Bicarbonato y el pH. Se observa una tendencia en los sitios de CESPE marcada con una elipse y los pozos y norias se agrupan a la derecha con los valores de HCO_3^- más elevados	49
Figura 30. Comportamiento de la concentración de NO_3 en pozos particulares y norias. La noria LM16 registró los valores más altos, sobrepasando durante mayo el límite de la OMS. De izquierda a derecha los sitios se alejan de la costa	50
Figura 31. Contenido de Bicarbonatos, Sulfatos y Cloruros en relación con la temperatura en los sitios de CESPE. Las elipses marcan las tendencias generales de cada componente	51
Figura 32. Comportamiento en escala semilogarítmica de la concentración de Sodio (Na^+) en relación con la distancia a la costa. Se observa una ligera tendencia a disminuir al alejarse de la costa. La línea oscura marca el límite de la NOM	54
Figura 33. Comportamiento del Mg^{2+} y el K^+ en relación con la distancia a la costa. Se representa con línea continua el límite máximo en la comunidad europea	56
Figura 34. Concentraciones de SiO_2 en La Misión. Se muestran los sitios con los valores más altos (pozos particulares), los más pequeños (lagunas) y los más constantes (pozos CESPE). De izquierda a derecha, los sitios se alejan de la costa	58

LISTA DE FIGURAS (continuación)

	Página
Figura 35. Concentraciones de B en La Misión. Se muestran los valores máximos (lagunas) y mínimos (CESPE). Nótese el aumento en la laguna LM18 en julio de 2004. De izquierda a derecha los sitios se alejan de la costa	59
Figura 36. Comportamiento de la concentración de hierro (Fe) en Pozos Particulares y Lagunas. Se presentan las muestras con mayores y contenidos de Fe. Se muestra el máximo permitido en la NOM y por la OMS. Hacia la derecha los sitios se alejan de la costa	60
Figura 37. Comportamiento de la concentración de manganeso (Mn) en Lagunas, Pozos Particulares y de CESPE. Obsérvense los altos valores de LM13, LM02 y LM04 que rebasan significativamente el límite máximo de la OMS. De izquierda a derecha en cada tipo de sitio, las muestras se alejan de la costa	61
Figura 38. Comportamiento de la concentración de P en Pozos Particulares, Lagunas y Noria LM16. El pozo LM02 presentó el valor más alto. De izquierda a derecha los sitios se alejan de la costa	62
Figura 39. Concentración de Sr en Pozos Particulares y Lagunas. El pozo LM03 presentó consistentemente los valores más altos. Las lagunas LM18, LM15 y LM13 mostraron un aumento de concentración de Sr en julio de 2004	65
Figura 40. Diagramas de Stiff de Pozos de CESPE y Norias en La Misión. Nótese que las norias tienen concentraciones más altas que los pozos de CESPE, los cuales se ubican al lado derecho del gráfico....	68
Figura 41. Diagramas de Stiff de Pozos Particulares en La Misión. Nótese el mayor contenido de Cl en el pozo LM03 y la predominancia de Na + K en LM06	69
Figura 42. Diagramas de Stiff en Lagunas de La Misión. Obsérvense el aumento abrupto de iones en LM18 y empobrecimiento de HCO_3 con respecto al Ca en LM13 y LM15	70
Figura 43. Diagrama de Piper y clasificación de aguas (modificado de Erdélyi y Gálfi, 1988; y Fetter, 2001)	71

LISTA DE FIGURAS (continuación)

	Página
Figura 44. Diagrama de Piper que muestra la posición de los promedios de composición de agua marina y dulce, y las tendencias que presentan las aguas con intrusión de agua salina y dulce (modificado de Appelo y Postma, 1993)	72
Figura 45. Diagrama de Piper de Pozos y Norias muestreados en La Misión. Obsérvese que la mayoría de las muestras tuvieron carácter clorurado y casi todos los pozos presentaron catión mezclado	73
Figura 46. Diagrama de Piper de pozos de CESPE muestreados en La Misión. Se observa que tienen composición similar al agua de mar pero se interpretan como pozos alimentados con agua con más tiempo de residencia en el acuífero	74
Figura 47. Diagrama de Piper de Lagunas muestreadas en La Misión. Las elipses marcan las muestras con enriquecimiento de SO_4 y Ca en LM13, LM15 y LM22. Las lagunas LM19 y LM21 mostraron solamente más SO_4	75
Figura 48. Diagrama de Piper de sitios muestreados clasificados por mes de colecta indicado por colores. Hacia julio de 2004 se observa un aumento de SO_4 y una disminución de HCO_3 en la mayoría de las muestras	77
Figura 49. Comportamiento de los SDT en relación a los cambios de elevación relativa de los niveles de agua en pozos y norias. Nótese que el pozo LM12 y la noria LM12a presentaron menores cambios de SDT. El eje mayor de las elipses representa la línea de tendencia de los datos	79
Figura 50. Concentración de SO_4 en relación al contenido de SDT. Las líneas continuas marcan las tendencias de las muestras y la discontinua la tendencia del agua de mar. Obsérvese que la tendencia 1 es muy diferente a la del agua de mar y la tendencia 2 no cruza el origen lo que implica una influencia ajena al agua marina	80
Figura 51. Comportamiento del contenido de Ca en relación a los SDT en las muestras de La Misión. La línea discontinua representa al agua	

LISTA DE FIGURAS (continuación)

	Página
marina. Nótese que las muestras de la tendencia 1 tienen mucho mayor contenido de Ca que el agua marina y la 2 no cruza el origen	81
Figura 52. Relación entre SDT y proporción de Na/Na+Ca. (a) Se grafican las correspondientes a algunos ríos y océanos del mundo (modificado de Langmuir, 1997) y (b) a las muestras de lagunas en La Misión agrupadas por mes de muestreo. En (c) se aprecian detalladamente las muestras y se observa una relación con la distancia a la costa	83
Figura 53. Relación entre SDT y proporción de Na/Cl. Se muestra el promedio en agua marina (Drever, 1998). Obsérvese la similitud con el agua de mar	84
Figura 54. Relación entre el contenido de Cl y Na en muestras de La Misión. Se marca la proporción 1:1 y se observa que las muestras LM01 y LM03 tienen más Cl que Na al contrario de LM06 y LM16	85
Figura 55. Relación entre el contenido de Ca+Mg y Na+K. Se observa un marcado aumento de Ca+Mg en LM01 y LM03 y de Na+K en LM06 y LM16. El muestreo de LM18 en julio no fue graficado para conservar una escala apropiada	86
Figura 56. Relación entre el contenido de Ca y Mg en muestras de La Misión. Se observa que LM03 presentó mayor contenido de Ca que LM01 ..	86
Figura 57. Índice de intercambio de bases para las muestras de La Misión. Se observa que las muestras LM01 y LM03 presentaron enriquecimiento de Ca y Mg y LM06 y LM16 se enriquecieron en Na y K. Los incisos corresponden al índice en el texto (Schoeller, 1959)	87
Figura 58. Diagrama de clasificación de agua de acuerdo con Chilingar (1958). LM06 y LM16 presentaron características de agua potable	88
Figura 59. Relaciones de Cl vs Li (a) y Cl vs Li/Mg (b). Se observa que el agua en LM03 y LM06 presenta alto tiempo de residencia al igual que los pozos de CESPE	89

LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla	I. Tasas de precipitación y evaporación y extremos de temperatura registrados durante el período de muestreo en la estación meteorológica No. 152 de la CNA en La Misión (CNA, 2005)	17
Tabla	II. Características de los sitios de muestreo. Los sitios de control corresponden a la planta de rebombeo de CESPE (LM11) y a los sitios LM01a, LM04a, y LM15a y b. (n.a.=no aplica, s.d.=sin dato)	26
Tabla	III. Clasificación del agua con base en el contenido de SDT (Fetter, 2001)	32
Tabla	IV. Concentración de aniones en diferentes tipos de agua; las unidades están dadas en mg/l. Datos de Langmuir (1997), Hem (1985), S.S.A. (2000) y WHO (2004). s.d. = sin dato	45
Tabla	V. Elementos analizados con ICP por ActLabs. Clasificación basada en Hem (1985). Explicación: ¹ elemento principal, ² elemento secundario, ^a presente en algunas muestras, ^b no detectado	52
Tabla	VI. Concentración de los cationes principales en diferentes tipos de agua; unidades en mg/l. Datos de Langmuir (1997), Hem (1985), S.S.A. (2000) y Hitchon <i>et al.</i> (1999). s.d. = sin dato	53
Tabla	VII. Concentración de los elementos mayores secundarios en diferentes tipos de agua; unidades en mg/l. Datos de Langmuir (1997), Hem (1985), S.S.A. (2000) y WHO (2004). s.d. = sin dato	57
Tabla	VIII. Concentración de elementos traza en diferentes tipos de agua; unidades en mg/l. Datos de Langmuir (1997), Hem (1985), S.S.A. (2000) y WHO (2004). s.d. = sin dato	64

LISTA DE FÓRMULAS Y ECUACIONES

	Página
1. Balance de masas que relaciona la concentración de una muestra con su volumen	14
2. Conversión de normalidad (N) a mg/l	14
3. Disponibilidad de agua subterránea en el acuífero de La Misión	22
4. Cálculo de electroneutralidad (EN) para el balance de cargas	43
5. Índices de intercambio de base (I_{IB}) de Schoeller (1959)	87
6. Clasificación de agua de acuerdo con Chilingar (1958)	88

I. INTRODUCCIÓN

El abastecimiento satisfactorio de agua potable en gran parte del noroeste del país es cada vez más difícil de lograr debido al carácter semiárido de la región, a la actividad agrícola y al rápido crecimiento de la población. Este es el caso que afecta a los municipios de Ensenada, Tijuana y Rosarito, en la porción noroccidental del estado de Baja California.

El acuífero del Valle de La Misión, que ha representado una de las fuentes de agua potable para estas ciudades, corre el riesgo de perder su utilidad, ya que su explotación desmedida ha provocado el avance de la intrusión de agua salina provocando la mezcla del agua marina del Océano Pacífico con el agua dulce proveniente del arroyo Guadalupe (SRH, 1975; CESPE, 1997), del que recibe la mayor parte de los aproximadamente 0.5 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ de descargas subterráneas horizontales (CNA, 2002).

Aunado a esto, la extracción excesiva de material aluvial en el acuífero y particularmente en el cauce del arroyo Guadalupe, cuya principal fuente de recarga es la precipitación (CNA, 2002), ha alcanzado la profundidad del nivel freático, provocando la exposición del manto a la evaporación y a la contaminación atmosférica, por lo que el deterioro de la calidad química del agua se ha ido incrementando en los últimos años.

Todos los trabajos que se han realizado en el área de estudio son informes de carácter técnico (SRH, 1975; CESPE, 1997 y 1998; CNA, 2002), en los cuales se puede observar la fluctuación histórica de las tasas de recarga y descarga del arroyo La Misión. En estos informes se afirma que en 1966 se podían extraer hasta 9.5 millones de $\text{m}^3/\text{año}$ ($\text{Mm}^3/\text{año}$) de agua sin afectar negativamente la estabilidad del acuífero (SRH, 1975), mientras que para el

año 2002, la CNA reporta que las salidas de agua son mayores que las entradas en un 30%, lo que limita la capacidad de extracción de agua directamente del manto.

Por tanto, los objetivos perseguidos en esta tesis consisten en definir al acuífero desde un punto de vista hidrogeoquímico, trazar la evolución temporal y espacial de la calidad del agua desde octubre de 2003 hasta julio de 2004, tanto subterránea como superficial y finalmente, determinar la extensión del deterioro hidrogeoquímico en el acuífero.

I.1. LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El acuífero del valle de La Misión se localiza aproximadamente a 40 km al norte de la ciudad de Ensenada, Baja California, México (Figura 1). La subcuenca de La Misión pertenece administrativamente a los municipios de Ensenada, Tijuana y Tecate (CNA, 2002).

El acceso a este valle se puede lograr desde Tijuana, a través de la autopista escénica Tijuana-Ensenada, en donde, a la altura del kilómetro 68, se



Figura 1. Localización del área de tesis y vías de acceso (modificado de CESPE, 1997).

toma la desviación hacia el poblado de La Misión. Asimismo, es posible partir de Ensenada y recorrer 40 km por la carretera libre o de cuota con dirección a Tijuana para arribar al valle.

La subcuenca del valle de La Misión ocupa un área total de 613 km² (CNA, 2002), la cual se delimita con línea discontinua en la figura 2. El presente trabajo se enfoca en los 16 km² de superficie que constituyen el desemboque del acuífero de La Misión y el arroyo Guadalupe, mismos que se ubican en el rectángulo limitado parcialmente por las coordenadas 32°05'18'' latitud norte, 116°53'6'' longitud oeste y 32°05'58'' latitud norte, 116°48' longitud oeste. (Figura 2 y 3).

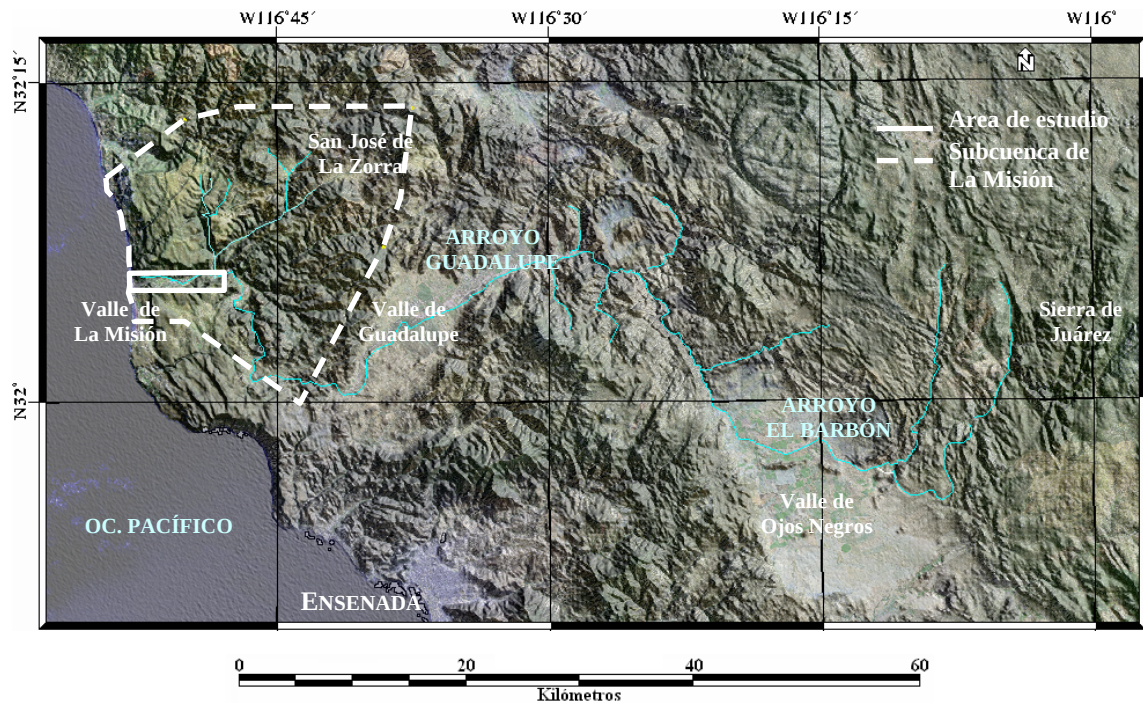


Figura 2. Modelo digital de elevación de la cuenca del arroyo Guadalupe (modificado de Kurczyn-Robledo, 2005) y límite de la subcuenca de La Misión (CNA, 2002). Se delimita también el área de estudio.

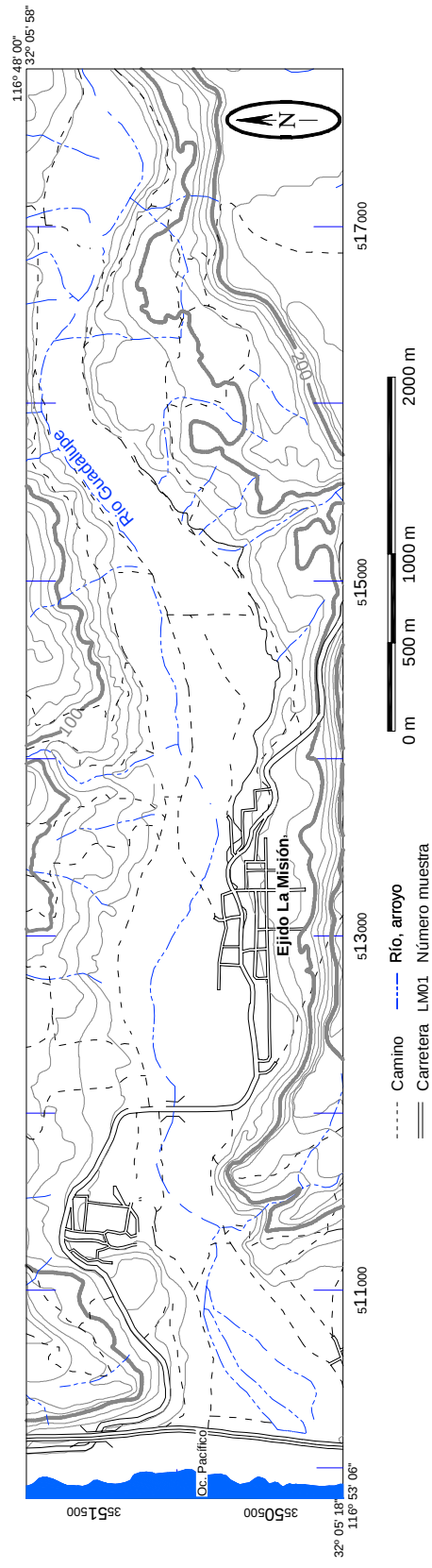


Figura 3. Detalle topográfico del área de estudio (modificado de INEGI, 1976).

I.2. TRABAJOS PREVIOS

Hasta el 2003, los estudios hidrogeológicos en el acuífero de La Misión han sido dirigidos principalmente por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE). Estos trabajos son en general informes técnicos que se han estado realizando desde 1966.

El primer trabajo consistió en estudiar la geohidrología de la costa del Pacífico, entre Tijuana y Rosarito, proporcionando datos preliminares que avalaban la posibilidad de extraer hasta $9.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$ por cada uno de los 8 pozos construidos en 1961 en el acuífero de La Misión. Este estudio concluye que, mediante la extracción de $6.3 \text{ Mm}^3/\text{año}$ de cada pozo es posible auxiliar al abastecimiento de agua de la ciudad de Tijuana (SRH, 1975). Esta tasa de bombeo se aplicó y el acuífero estuvo a punto de contaminarse por la intrusión salina, razón por la que la explotación total se debió reducir a $9.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$ en total.

En 1971, un nuevo estudio, realizado por la compañía INGESA, indicó que en el valle de La Misión existían 43 pozos de los que se extraían $6.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$, de los cuales, 6.1 millones correspondían a la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) encausados a la ciudad de Tijuana (SRH, 1975).

En 1972 se realizaron investigaciones termométricas, sismológicas e hidrológicas en una parte del Valle con el fin de evaluar la capacidad de producción de agua para utilizarla como fuente de energía geotérmica. Este estudio estima que la cantidad de agua subterránea en el almacenamiento es de 14 millones de m^3 , (aunque CNA 2004 reportó 32 millones de m^3 de almacenamiento) con una disponibilidad de $1.2 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (SRH, 1975).

En 1975 la SRH, a través de la compañía Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., estudió el acuífero de La Misión para lanzar una propuesta adecuada que racionalice la explotación de los recursos hidráulicos del valle. En este trabajo se concluye que el acuífero está en equilibrio dinámico y la posición de la interfase salina se mantiene constante al extraer $6 \text{ Mm}^3/\text{año}$ contra los $5.9 \text{ Mm}^3/\text{año}$ de recargas.

Posteriormente la subdirección técnica de la CESPE trabajó en el proyecto hidrológico La Misión y el proyecto geohidrológico La Misión. El primero de estos trabajos (1997) sentó las bases geológicas y geofísicas para la elaboración del segundo (1998), el cual consistió en ubicar un pozo profundo en el valle de La Misión para que a corto plazo se utilice como fuente adicional de agua.

Asimismo, en 1999 la CNA en conjunto con la CFE, trabajó en la caracterización hidrogeológica del acuífero de La Misión, estudio en el que, mediante un análisis geofísico con sondeos eléctricos verticales y la perforación de un barreno exploratorio, se estableció la factibilidad de extraer $11 \text{ Mm}^3/\text{año}$ del acuífero, tanto salobre como salada, para construir a futuro plantas desalinizadoras en la costa del valle de La Misión.

En el año 2002, un estudio de la CNA determinó la disponibilidad de agua en La Misión; en este trabajo se concluye que no es posible otorgar más concesiones para extraer agua subterránea, ya que el balance de recarga contra descarga en el acuífero dio un valor negativo de $1.95 \text{ Mm}^3/\text{año}$, siendo la recarga media anual de $6.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$, lo que indica claramente que el acuífero tiene un balance negativo con más descargas que recargas.

Finalmente, durante 2004 la CNA presentó los resultados preliminares del proyecto realizado con el apoyo técnico y económico de la paraestatal japonesa Japanese Resource Corporation (JRC-Green), en el cual se evaluó el acuífero y se planteó la factibilidad para

construir una presa subterránea en La Misión en un eje perpendicular al arroyo a 3.5 km de la costa (Figura 4) y a una profundidad de 60 metros. Esta obra tendría el propósito de detener la infiltración de agua salada y reducir las pérdidas por escurrimiento en años lluviosos. Es preciso señalar que este proyecto aún está en revisión por la CNA (CNA y JRC-Green, 2004).

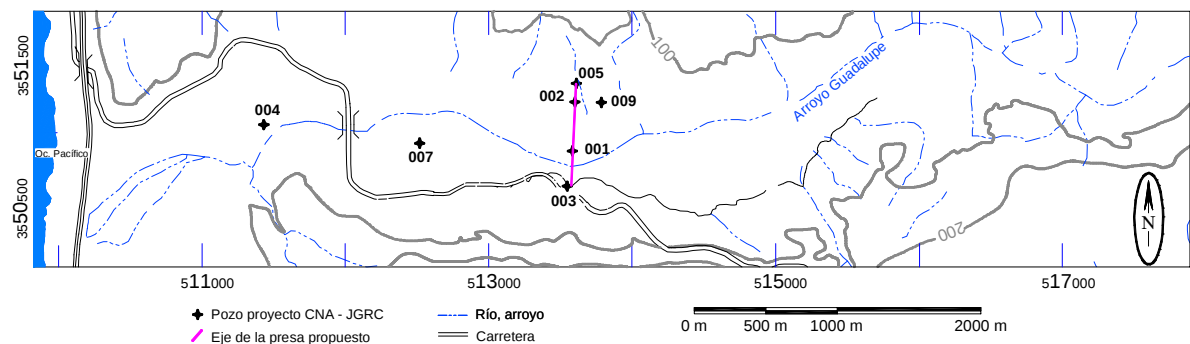


Figura 4. Propuesta de localización del eje de la presa subterránea y posición de pozos de exploración usados en ese proyecto (CNA y JRC-Green, 2004).

I.3. OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo es el caracterizar hidrogeológicamente el acuífero del valle de La Misión haciendo énfasis en la calidad hidrogeoquímica del acuífero. Los objetivos particulares pueden ser resumidos en los siguientes puntos:

- Definición hidrogeoquímica de la desembocadura del arroyo Guadalupe en el acuífero de La Misión

- Determinación del comportamiento de la intrusión salina en el área en un ciclo anual.
- Determinación de la evolución temporal y espacial de la calidad del agua superficial y subterránea.
- Extensión del deterioro químico del agua e impacto de la extracción de arenas del lecho del arroyo Guadalupe.

II. METODOLOGÍA

Los datos utilizados en la tesis fueron obtenidos a partir de dos etapas de trabajo: (1) la recolección de muestras de agua en campo, que abarcó desde la definición del área de estudio hasta la medición de parámetros físicos y químicos *in situ*, y (2) la información generada por los análisis químicos en laboratorio. Con base en esto, en cada etapa se siguió la metodología que a continuación se describe.

En la primera fase se definió el área de trabajo a través del mapa geológico (1976) y el plano topográfico (1996) escala 1:50,000 elaborados por el INEGI, así como de la imagen de satélite tomada de Hinojosa-Corona y Serrato-De La Cruz (2004). Una vez definida el área, se elaboró un programa con las salidas al campo para localizar norias, pozos (particulares y del gobierno estatal) y sitios de interés para los objetivos del estudio, trazando también las vías de acceso.

En total, los sitios de muestreo fueron 28, distribuidos en el área del acuífero de La Misión (Figura 5). Los sitios consisten en 9 pozos de propietarios particulares con profundidades máximas de 30 m, 3 pozos y una planta de rebombeo operados por CESPE, 5 norias con profundidades de hasta 7.5 m y 10 lagunas.

Posteriormente, estos sitios fueron visitados para obtener muestras y medir los parámetros hidrogeoquímicos y físicos *in situ*. Asimismo, debido a que el nivel de los sitios no fue referenciado al nivel medio del mar, fue medido el nivel de agua en pozos y norias en relación al brocal de tales estructuras así como sus profundidades de construcción utilizando una sonda Solinst modelo 101, la cual consiste de un cable graduado con un electrodo en el extremo que activa una alarma al entrar en contacto con el agua.

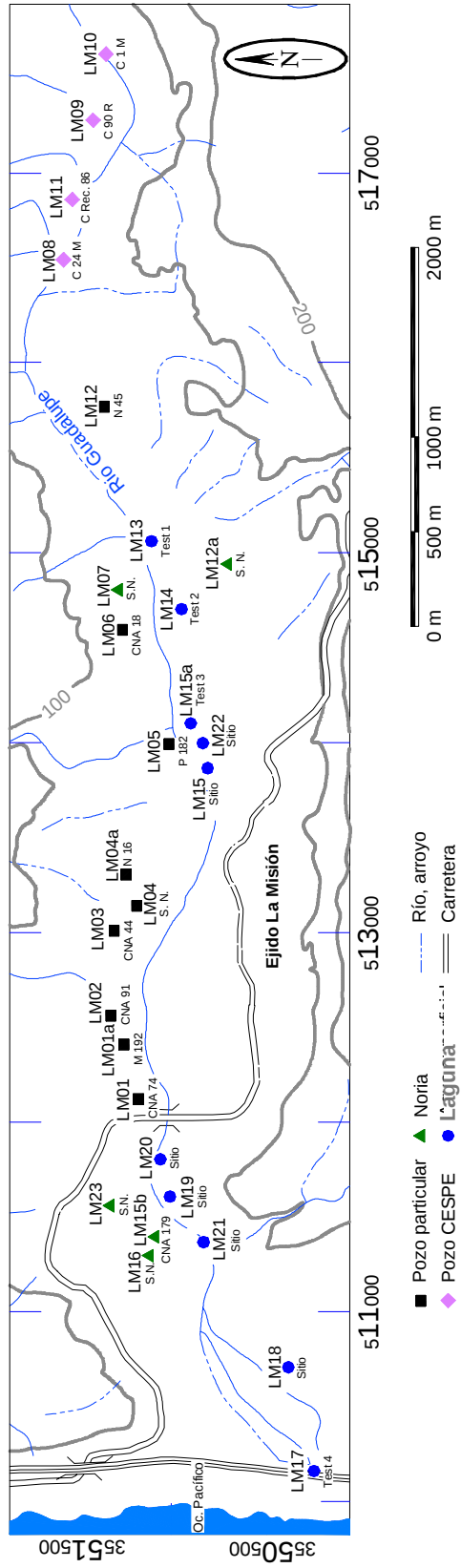


Figura 5. Ubicación de sitios de muestreo en el área de tesis.

De la misma forma, se ubicaron 4 testigos para medir los cambios relativos del nivel estático de agua en sitios donde el acuífero aflora; la relatividad alude a que los niveles de agua no están referidos al nivel medio del mar, es decir, los cambios observados en la altura del pozo son en relación a la altura anterior observada.

Los testigos consistieron en varillas de metal graduada de 1.5 metros de longitud (Figura 6a) y en la señalización de la altura del nivel de agua sobre una roca cercana a la costa (Figura 6b).

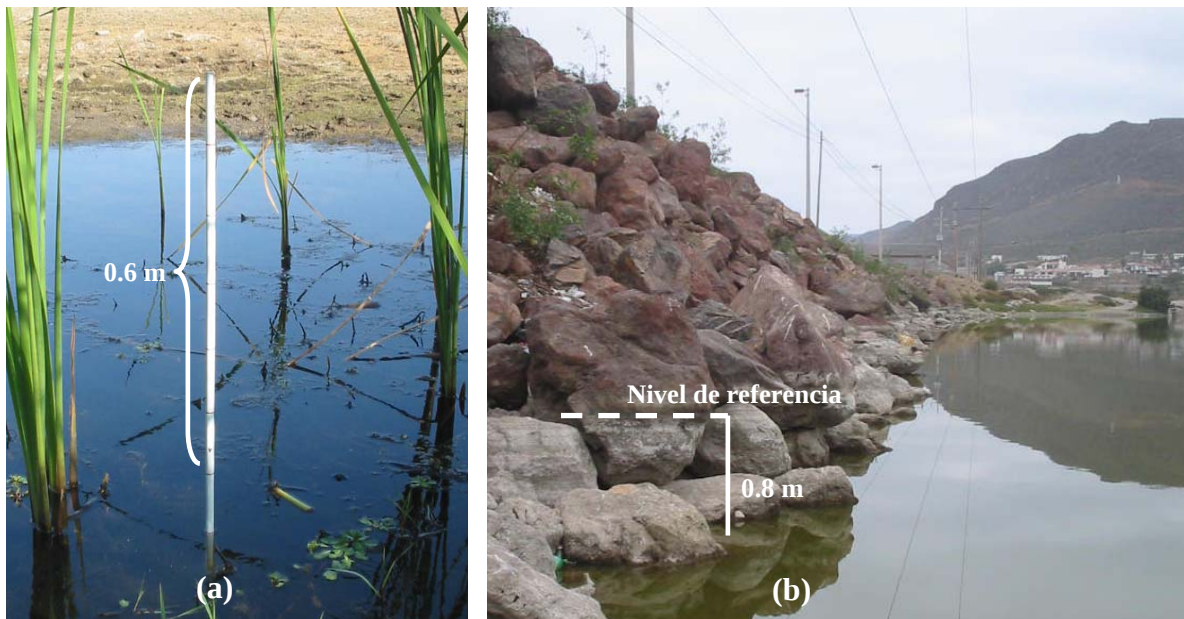


Figura 6. (a) Varilla usada como testigo en el sitio LM14 y (b) nivel de referencia en el sitio LM17 utilizado para medir los cambios de nivel de agua. Las fotos corresponden al mes de octubre de 2003.

De esta manera, fueron realizados 6 muestreos con sus respectivos registros de parámetros físicos e hidrogeoquímicos en los meses de octubre y noviembre de 2003 y febrero, abril, mayo y julio de 2004. Además, se hizo otra visita en febrero de 2004 en la que se intentó observar los efectos de un evento de precipitación ocurrido en ese mes.

En la recolección y conservación de muestras, así como en la medición de parámetros de campo, se siguió la normatividad establecida por la Environmental Protection Agency (EPA) en su guía para monitoreo de pozos (1991) y en el manual de métodos de monitoreo voluntario de arroyos (1997), así como por los manuales de hidrogeología de campo de Brassington (1998) y Weight y Sonderegger (2001).

En la toma de muestras fueron utilizados dos envases de plástico de 125 ml en cada uno de los sitios. Una vez tomadas, estas fueron enfriadas con hielo para trasladarlas al laboratorio y conservarlas a una temperatura aproximada de 4°C para su posterior análisis químico. Los análisis consistieron en medir la concentración de aniones y metales. Los aniones se midieron en el laboratorio de hidrogeoquímica del CICESE y los cationes en los laboratorios de ActLabs en E.U y Canadá.

Los mapas y planos generados en esta tesis fueron hechos en Autocad 2002. Asimismo el programa RockWare Utilities v2.0 fue utilizado en la creación de diagramas de Stiff y Piper.

II.1. PARÁMETROS DE CAMPO

La mayor precisión en la información sobre la calidad hidrogeoquímica y características físicas de cualquier acuífero se logra al obtener estos datos *in situ*. Los parámetros de campo que se midieron en este trabajo incluyen la temperatura, la conductividad eléctrica (CE), un estimado del contenido de sólidos disueltos totales (SDT), el potencial de hidrógeno (pH), y la alcalinidad y acidez de las muestras.

Para medir estos parámetros se utilizó una probeta de 100 ml, vasos de precipitado de 250 ml, una bureta de precisión y equipo electrónico marca Thermo Electron Corporation.

La CE y los SDT se obtuvieron con el conductivímetro portátil modelo Orion 135A. Estos parámetros están estrechamente relacionados, ya que la CE en el agua está controlada por el contenido de SDT, los que se definen como la cantidad de sólidos que permanecen al secar una muestra de agua (Fetter, 2001). Esta definición resalta el hecho de que la medición de SDT en campo es una aproximación al valor real.

La temperatura (propiedad que también controla la CE) y el pH fueron medidos con el potenciómetro portátil modelo Orion 290A+. El pH se define por el logaritmo base 10 del inverso de la actividad del hidrógeno y es uno de los parámetros de mayor importancia en la hidrogeoquímica, debido a que se involucra en la mayoría de las reacciones (Drever, 1997).

La alcalinidad y la acidez de las muestras fueron obtenidas indirectamente en el campo; ya que, estrictamente hablando, la alcalinidad es la capacidad del agua para aceptar protones y es la resultante de todas las bases presentes en un sistema (Langmuir, 1997). En el agua, la alcalinidad está controlada principalmente por el contenido del ion bicarbonato (HCO_3^-).

La acidez se define como la capacidad del agua para donar protones y está controlada por la presencia de ácidos fuertes y débiles así como la de sales de ácidos fuertes y bases débiles principalmente. La importancia de la acidez radica en que esta puede acelerar el intemperismo de las rocas y además representa un peligro al incrementar la solubilidad de los metales pesados en el agua (Langmuir, 1997).

La medición de la alcalinidad y la acidez fue realizada titulando con buretas de precisión y soluciones de ácido clorhídrico (HCl) e hidróxido de sodio (NaOH),

respectivamente, ambos con una concentración de 0.1 normal. Su cuantificación fue hecha en base al balance de masas que relaciona la concentración de una muestra con su volumen:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \Rightarrow C_2(N) = \frac{C_1V_1}{V_2} \quad (1)$$

En donde, C_1 es la concentración Normal (N) conocida del ácido o base agregado, V_1 es el volumen agregado de dicha base o ácido, V_2 es el volumen de muestra utilizado y C_2 es la concentración N desconocida, misma que puede ser de HCO_3^- para alcalinidad o CO_3^{2-} para acidez. Posteriormente, la concentración N se convierte a mg/l utilizando el peso molecular (P.M.) del componente que se busca (HCO_3^- o CO_3^{2-}) y multiplicando por 1000:

$$C_2(\text{mg/l}) = C_2(N) \times \text{P.M.}(\text{HCO}_3^- \text{ ó } \text{CO}_3^{2-}) \times 1000 \quad (2)$$

Para medir la alcalinidad las muestras, estas fueron tituladas con HCl hasta que el pH de la solución alcanzó el valor de 4.3, que corresponde al punto en que la mayor parte del ion HCO_3^- disuelto se convierte en ácido carbónico (H_2CO_3).

La acidez fue obtenida haciendo la titulación con el NaOH hasta modificar el potencial de hidrógeno a 8.3, en donde el ion carbonato (CO_3^{2-}) es convertido a bicarbonato (EPA, 1997; Drever, 1997).

II.2. FASE DE LABORATORIO

De cada sitio se tomaron dos muestras que fueron filtradas en laboratorio en menos de 48 horas desde su recolección, con una bomba de vacío y filtros de membrana de celulosa de $0.45 \mu\text{m}$. Una de las muestras fue fijada a un pH menor a 2 mediante la adición de ácido

nítrico concentrado con el objetivo de conservar la dureza del agua y la concentración de otros componentes disueltos (EPA, 1991; Weight y Sonderegger, 2001). Posteriormente la muestra fue analizada por espectrometría de plasma (ICP) en los laboratorios ActLabs de Arizona, EE.UU., y Ontario, Canadá, para obtener el contenido de los principales cationes.

Entre los elementos analizados en estos laboratorios destacan el boro (B), el calcio (Ca), el hierro (Fe), el potasio (K), el litio (Li), el magnesio (Mg), el sodio (Na), el silicio (Si), el estroncio (Sr) y el azufre (S).

La muestra sin acidificar fue analizada con un sistema de cromatografía de iones marca Dionex modelo ICS-2000 en el laboratorio de hidrogeoquímica de CICESE, donde se obtuvieron las concentraciones de fluoruros (F^-), cloruros (Cl^-), bromuros (Br^-), sulfatos (SO_4^{2-}), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y fosfatos (PO_4^-).

III. FISIOGRAFÍA Y CLIMA

Fisiográficamente, el área de estudio pertenece a la subprovincia Sierras de Baja California Norte (Lugo-Hubp, 1990). Esta subprovincia ocupa cerca del 80% del estado y se constituye principalmente por el intrusivo batolítico transpeninsular, caracterizado por las elevaciones de hasta 3000 m.s.n.m. de la Sierra San Pedro Mártir y Sierra de Juárez, mismas que en su lado este presentan flancos abruptos mientras que al oeste los costados son suavizados. En la región también se observan cuestras menores, llanuras y valles pequeños (INEGI, 1995).

El clima predominante en el área de estudio es de tipo Seco Mediterráneo Templado con Lluvias en Invierno, el cual se caracteriza por presentar un rango de promedios anuales de temperatura de 16 a 21°C y precipitaciones medias anuales de 100 a más de 300 mm con el máximo nivel de lluvias durante la temporada invernal (INEGI, 2001).

En el valle de La Misión, la CNA mantiene una estación meteorológica de la que se obtuvieron los datos de precipitación y evaporación (Tabla I y Figura 7), así como las temperaturas máximas y mínimas correspondientes al período de muestreo (Tabla I). En esta tabla se puede observar que la precipitación durante el período en el área no es significativa, con un máximo en febrero de 2004 con 104 mm y mínimos en octubre de 2003 y de mayo a julio de 2004 en donde no fue registrada lluvia.

Por su parte, los máximos de evaporación coinciden con los mínimos de lluvia, presentándose el valor acumulado mensual más alto durante julio de 2004, al alcanzar los 200 mm, mientras que el mínimo se presentó durante enero del mismo año con 64 mm.

Tabla I. Tasas de precipitación y evaporación y extremos de temperatura registrados durante el período de muestreo en la estación meteorológica No. 152 de la CNA en La Misión (CNA, 2005).

	2003			2004							Acumulado en el período
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Precipitación (mm)	0.0	17.0	23.0	8.5	103.9	13.2	5.7	0.0	0.0	0.0	171.3
Evaporación (mm)	120.0	85.0	74.0	64.5	85.5	97.2	136.2	185.0	158.0	203.0	1208.4
Temp. max. (°C)	36.0	29.0	25.0	28.0	27.0	35.0	39.0	39.0	25.0	35.0	39.0 (max)
Temp. min. (°C)	8.0	2.0	1.0	0.0	2.0	6.0	7.0	7.0	10.0	11.0	0.0 (min)

Asimismo, los meses más calurosos correspondieron a abril y mayo de 2004 en los que fue alcanzado el máximo de 39°C, mientras que el más frío fue enero registrando el mínimo del período de 0°C. Destaca también el elevado nivel acumulado de evaporación, que asciende a 1208 mm, lo que representa más de 7 veces el valor de precipitación acumulado para el mismo período que fue de 171 mm (Figura 7).

La figura 7 presenta la precipitación y evaporación en La Misión ocurridas de octubre a julio desde el año 2000. En ella es posible observar que el año 2002-2003 registró la mayor cantidad de precipitación y la menor tasa de evaporación y que el período de muestreo tuvo el mayor índice de evaporación acumulado (1208 mm) y uno de los menores valores de precipitación (171 mm), sólo por encima del ciclo 2001-2002 (93 mm).

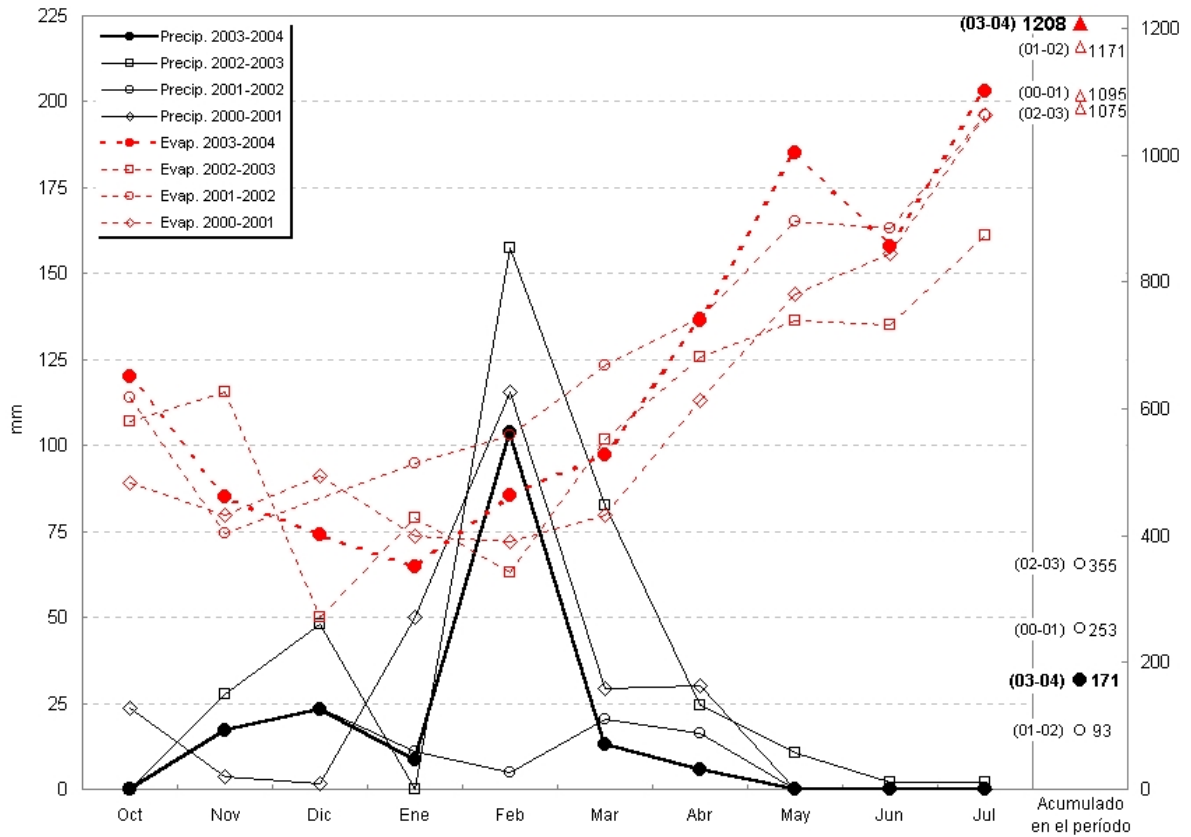


Figura 7. Precipitación y evaporación acumulada mensualmente en la estación meteorológica de La Misión durante el período de muestreo y su equivalente en años anteriores. Se grafica también el acumulado en estos períodos con base en la escala secundaria de la derecha. Obsérvese que en el período de 2003 a 2004 se presentaron los valores acumulados más altos de evaporación y uno de los menores de precipitación (línea más oscura y texto en negrita) (datos de CNA, 2004 y 2005).

IV. GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

La geología del noroeste de la península de Baja California ha sido ampliamente estudiada por diversos autores. Yeo (1984) presenta la columna estratigráfica generalizada de la región costera del norte de la península (Figura 8).

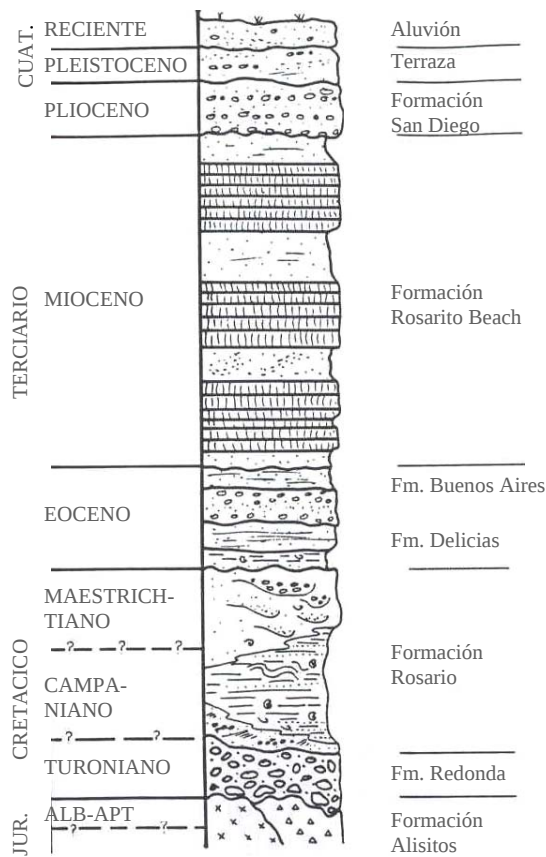


Figura 8. Estratigrafía general del noroeste de Baja Calif. (modificada de Yeo, 1984).

Regionalmente, al final del Jurásico e inicios del Cretácico, la línea de costa se encontraba localizada a varios kilómetros hacia el oeste de su posición actual, por lo que en la estratigrafía se ve reflejada la condición continental de sus rocas, al presentarse, sobreyaciendo al basamento batolítico peninsular y al metavolcánico de la Formación Alisitos, areniscas y conglomerados rojizos con clastos producidos por facies aluviales y fluviales (Yeo, 1984).

En el Turoniano tardío, el nivel eustático comenzó a aumentar y empujó la costa hacia el este, en donde, ya en el Campaniano y durante la transgresión, la Formación Rosario empezó a

ser depositada, creando depósitos de areniscas masivas de grano grueso y areniscas limolíticas, sobreyacidas por una sección gruesa de lutitas depositada hasta que el nivel del mar alcanzó su máximo, para finalizar con conglomerados post-Campanianos, derivados del

transporte de sedimento a través de abanicos aluviales durante la disminución del nivel eustático (Yeo y Minch, 1984).

El inicio del Terciario se encuentra marcado por el ambiente lacustre de la base de la Formación Delicias, la cual se encuentra sobreyacida por las rocas deltáicas de la Formación Buenos Aires, ambas depositadas durante el Eoceno (Minch *et al.*, 1984).

Por otro lado, la unidad más prominente de la secuencia en el área de estudio corresponde a la Formación Rosarito Beach del Mioceno. Esta formación se compone de una gran variedad litológica, que incluye flujos de basaltos subaéreos, brechas de matriz arenosa, tobas de lapilli, tobas, areniscas tobáceas, sedimentos diatomeicos, areniscas, calizas y conglomerados (Minch *et al.*, 1984).

Sobreyaciendo discordantemente a la Formación Rosarito Beach se encuentran las rocas Pliocénicas de la Formación San Diego, las cuales consisten de conglomerados, conglomerados arenosos y areniscas fosilíferas (Ashby y Minch, 1984).

Finalmente, en la cima de la columna estratigráfica se encuentran las terrazas marinas del Pleistoceno y los paquetes sedimentarios de aluvión recientes.

En el área de estudio, las tobas y flujos andesíticos del Grupo Alisitos subyacen discordantemente a limolitas y areniscas marinas de la Formación Rosario del Cretácico Superior, que a su vez se encuentran cubiertos por basaltos y sedimentos de la Formación Rosarito Beach, los cuales son cubiertos por material de aluvión reciente (Figura 9).

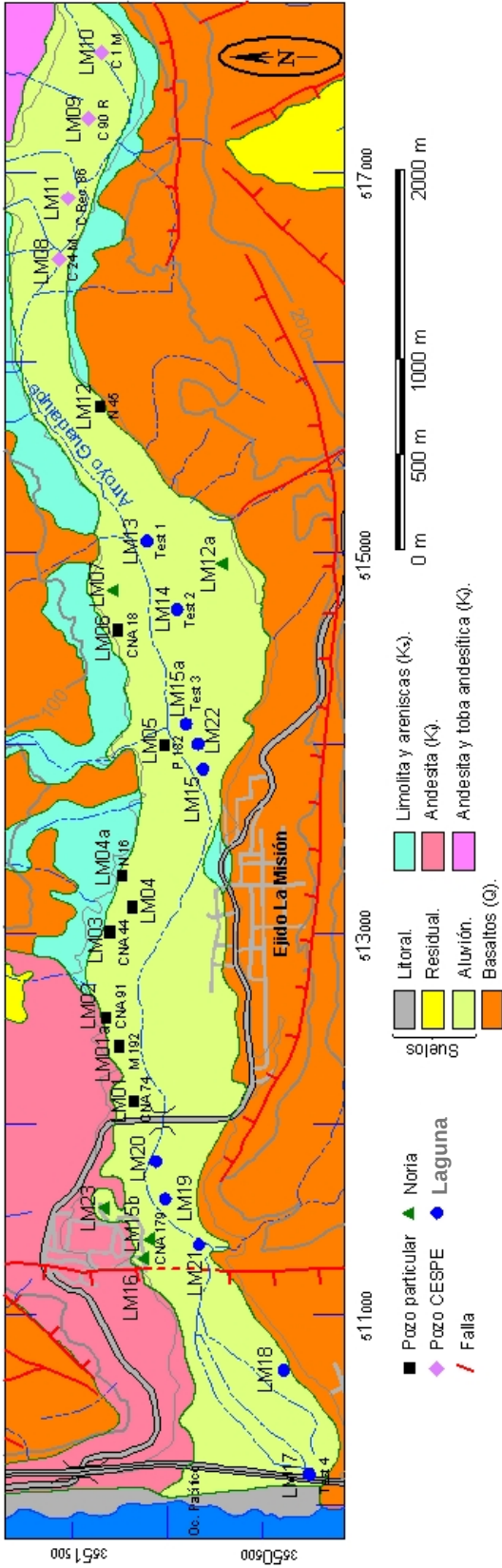


Figura 9. Mapa geológico del Valle de La Misión (modificado de INEGI, 1976).

V. HIDROGEOLOGÍA

En el año 2002 la CNA realizó pruebas de bombeo en las que fue posible medir algunos parámetros hidráulicos del acuífero de La Misión. De esta manera, se obtuvo que la conductividad hidráulica –que consiste en un coeficiente de proporcionalidad que denota la tasa en la que el agua puede moverse a través de un medio permeable por unidad de área transversal a la dirección del flujo (Fetter,2001)– se encuentra en el orden de los 20 m/día; mientras que la transmisividad del acuífero –que se define como la capacidad de un acuífero para transmitir agua a través de una unidad de espesor del mismo con un gradiente hidráulico unitario y se obtiene con el producto del espesor saturado del acuífero y la conductividad hidráulica (Fetter, 2001)– fluctúa entre 0.3 y 80 m²/día, rango que denota la heterogeneidad litológica del área (CNA, 2002).

En este trabajo se calcula que el almacenamiento subterráneo asciende a 32 millones de m³, de los cuales, el 31% del agua es considerada de buena calidad. Esta agua proviene de la precipitación, la cual asciende a un promedio de 5.8 millones de m³/año, y al flujo subterráneo horizontal, que corresponde a alrededor de 0.5 millones de m³/año (CNA, 2002). Asimismo, con base en la Norma Oficial Mexicana (NOM-011-CNA-2000) se calcula la disponibilidad del agua subterránea, la cual considera los términos de la siguiente relación y los valores proporcionados por la Comisión Nacional del Agua en 2002:

Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen anual de aguas subterráneas concesionado	=	Disponibilidad media anual de agua subterránea	(3)
6'480,000	-	1'000,000	-	7'428,785	=	-1,948,785	

De esta forma, se estableció que no es factible otorgar nuevas concesiones de extracción de agua subterránea en el área de La Misión debido a que el volumen de extracción supera en un 30% el volumen de recarga natural.

Sin embargo, de acuerdo con Custodio (2002), para determinar si un acuífero se encuentra sobreexplotado, es necesario conocerlo de una manera más integral, observando la progresión de la calidad química del agua y el nivel de abatimiento potenciométrico.

Por otro lado, atendiendo al grado de permeabilidad, las rocas del área se pueden clasificar en tres unidades: permeable, semipermeable e impermeable (Figura 10).

La unidad permeable incluye los materiales aluviales cuaternarios no consolidados, como gravas y arenas, depositados por la corriente del arroyo Guadalupe y con una gran capacidad de almacenamiento y alta transmisividad.

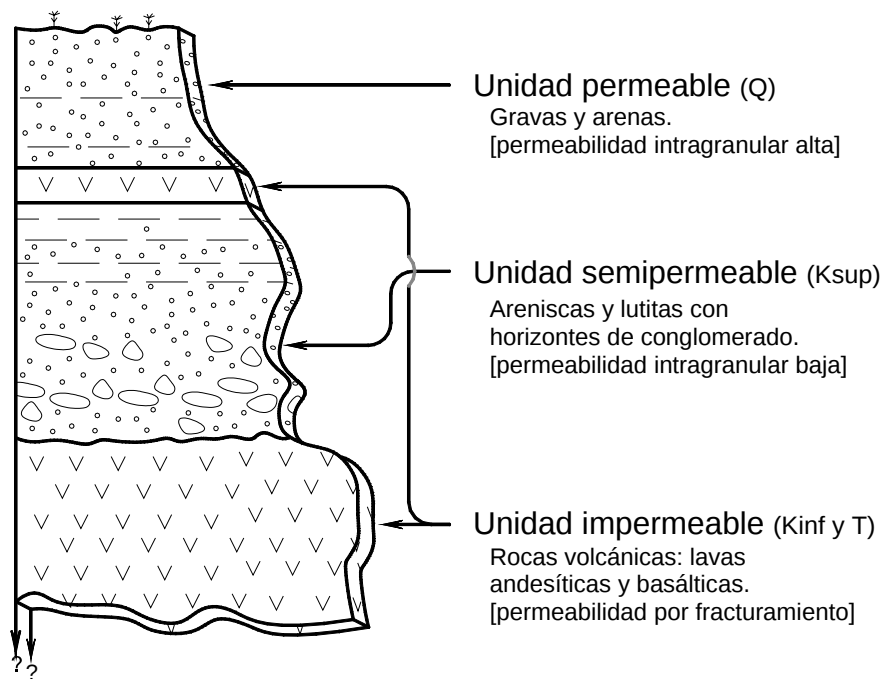


Figura 10. Columna hidroestratigráfica esquematizada del área de La Misión.

La unidad semipermeable consiste de areniscas y lutitas compactas con algunos horizontes de conglomerado de la Formación Rosario del Cretácico superior, los cuales afloran en áreas muy reducidas en ambos flancos del cauce del arroyo.

En la unidad impermeable se agrupan las rocas de más baja permeabilidad, como las volcánicas no diferenciadas y lavas andesíticas del Grupo Alisitos del Cretácico inferior, y las lavas basálticas de la Formación Rosarito Beach del Mioceno. Esta unidad representa la frontera impermeable del acuífero y es donde se captan las aguas de lluvia, propiciando su escurrimiento hacia la unidad permeable a través de los cauces de arroyo, como el proveniente del cañón Agua Escondida y la cañada La Zorra (Figura 11).

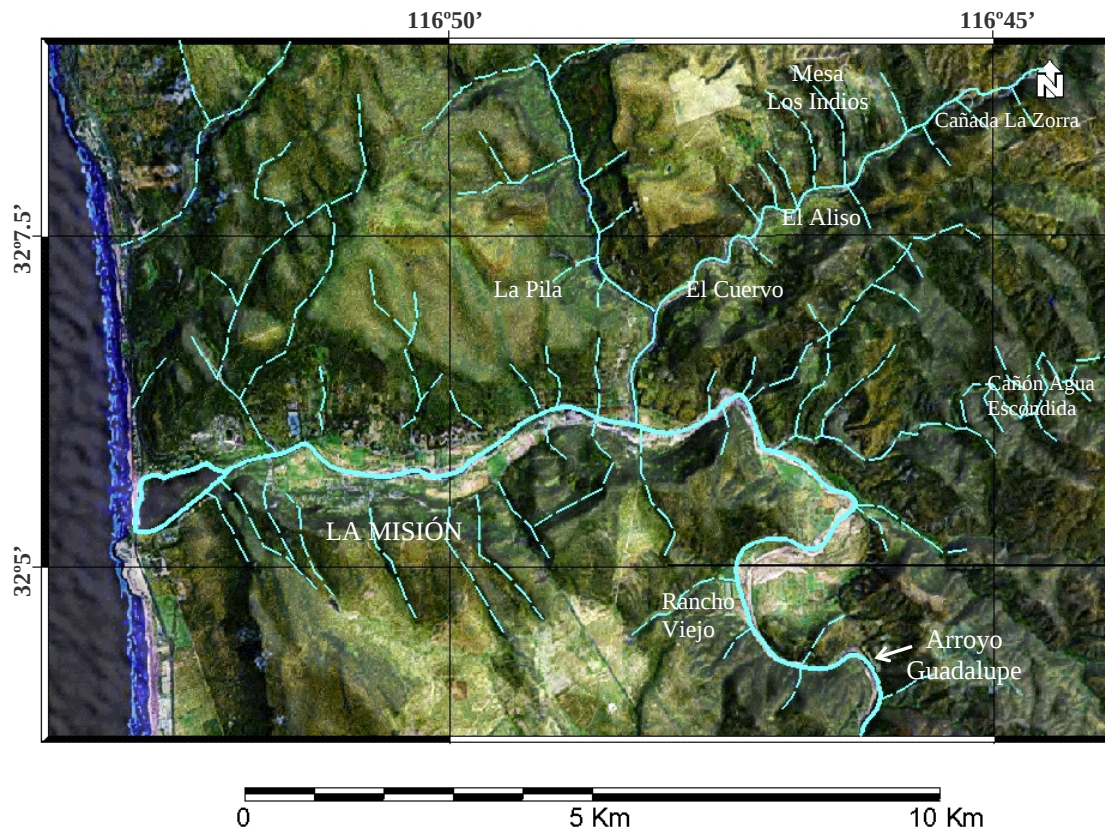


Figura 11. Características hidrográficas generales del Valle de La Misión. Se muestran los arroyos por donde se da el escurrimiento al acuífero.

Durante el estudio realizado por CNA y la compañía J-Green en 2004, y a través de sondeos eléctricos verticales se obtuvo la sección hidrogeológica simplificada que se muestra en la figura 12, en la que se observa el espesor aproximado del acuífero o profundidad al basamento, que en promedio es de 40 m. Esta sección corresponde al eje propuesto para la presa subterránea presentada en la figura 4.

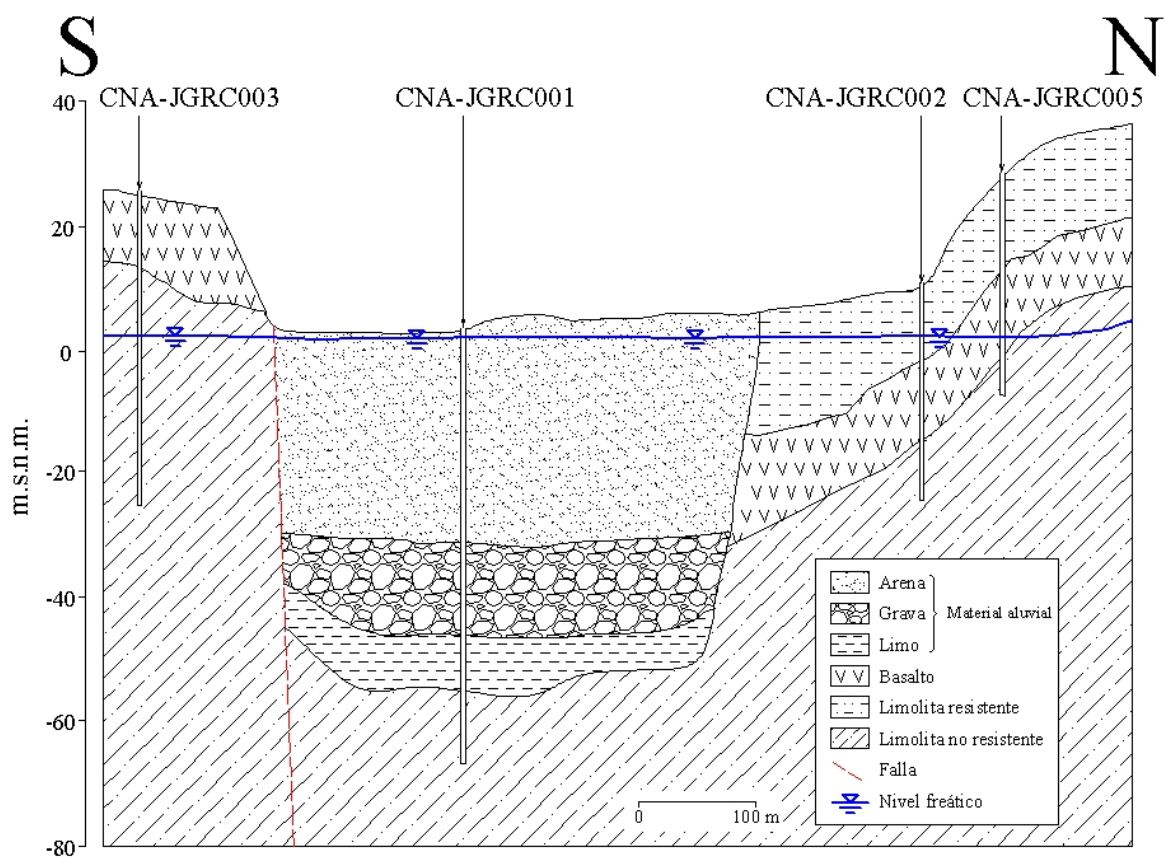


Figura 12. Sección hidrogeológica esquematizada del acuífero de La Misión localizada en el eje propuesto en la figura 4 (modificada de CNA y JRC-Green, 2004).

VI. RESULTADOS

En este capítulo se presenta una síntesis descriptiva de los resultados obtenidos en campo y laboratorio y su interpretación se presenta en el capítulo VIII. De esta forma, de los 28 sitios muestreados, 6 fueron de control y funcionaron sólo para verificar los datos obtenidos en muestras vecinas.

En la tabla II es posible apreciar el tipo de punto de muestreo y las distancias de cada uno de los 28 sitios a la línea de costa, así como las profundidades aproximadas de perforación de pozos y norias en relación con el nivel del suelo. Cabe mencionar que donde fue posible, las figuras que se presentan a continuación se ordenaron de acuerdo con la distancia que guardan con la costa, siendo los sitios presentados a la izquierda los más cercanos a ella.

Tabla II. Características de los sitios de muestreo. Los sitios de control corresponden a la planta de rebombeo de CESPE (LM11) y a los sitios LM01a, LM04a, y LM15a y b. (n.a.=no aplica, s.d.=sin dato).

Sitio	Tipo	Dist. a la costa (m)	Profundidad aprox. (m)
LM 01	Pozo part.	2,100	5.2
LM 01a	Pozo part.	2,386	4.3
LM 02	Pozo part.	2,537	6.5
LM 03	Pozo part.	2,985	8.3
LM 04	Pozo part.	3,115	4.8
LM 04a	Pozo part.	3,282	9.8
LM 05	Pozo part.	3,968	3.6
LM 06	Pozo part.	4,573	18.0
LM 07	Noria	4,780	5.3
LM 08	Pozo CESPE	6,518	s.d.
LM 09	Pozo CESPE	7,251	s.d.
LM 10	Pozo CESPE	7,595	s.d.
LM 11	Planta CESPE	6,834	n.a.
LM 12	Pozo part.	5,742	8.9

Sitio	Tipo	Dist. a la costa (m)	Profundidad aprox. (m)
LM 12a	Noria	4,918	7.0
LM 13	Laguna	5,034	n.a.
LM 14	Laguna	4,676	n.a.
LM 15	Laguna	3,839	n.a.
LM 15a	Laguna	4,075	n.a.
LM 15b	Noria	1,372	3.0
LM 16	Noria	1,274	4.2
LM 17	Laguna	139	n.a.
LM 18	Laguna	685	n.a.
LM 19	Laguna	1,583	n.a.
LM 20	Laguna	1,780	n.a.
LM 21	Laguna	1,344	n.a.
LM 22	Laguna	3,971	n.a.
LM 23	Noria	1,534	2.6

VI.1. RESULTADOS DE CAMPO

Por motivos prácticos y para compararlos de manera apropiada, los datos se agruparon de acuerdo al tipo de sitio, los cuales consisten en pozos particulares, norias, pozos de CESPE y sitios en donde el acuífero se encuentra en contacto directo con la atmósfera o lagunas.

El sitio con la clave LM10 es el más alejado de la costa con 7,600 m y corresponde al pozo de CESPE 1M, mientras que el más cercano es el sitio LM17, el cual se encuentra en una laguna costera a 140 m junto al puente de la carretera de cuota hacia Tijuana.

Por su parte, la profundidad de perforación de los pozos y norias fluctúa entre 2.6 y 18 m, siendo el más profundo el sitio LM06, que corresponde a un pozo en terreno particular y es el que se encuentra a mayor elevación topográfica de todos los sitios muestreados. A su vez, el sitio más somero es el marcado como LM23, el cual consiste en una noria ubicada dentro del poblado de La Misión.

Es preciso mencionar que aunque en las visitas al campo realizadas en este trabajo no fue posible medirlas, las profundidades de los pozos de CESPE en el área alcanzan hasta 25 m, de acuerdo con comunicación oral y escrita establecida con la CNA en 2004.

VI.1.1. Comportamiento piezométrico

En campo se registró el cambio relativo de nivel de agua en los diferentes sitios, midiendo la distancia entre el brocal del pozo o noria y la superficie o espejo de agua dentro de ellos.

El comportamiento del nivel de agua en los pozos particulares se observa en la figura 13, en donde el valor 0.0 representa el brocal del pozo. Se aprecia en esta gráfica que de octubre de 2003 a julio de 2004, el nivel relativo tuvo una disminución en todos los casos y en la mayoría de ellos la medición de julio fue la que marcó mayor descenso.

Durante la salida al campo del 27 de febrero de 2004 (posterior a la lluvia), se observó una pequeña recuperación de los niveles de agua en la mayoría de los sitios, en particular en el pozo LM04, en el que el nivel aumentó 1.5 m, aunque se debe tomar en cuenta que el registro de 11 de febrero de 2004 en ese pozo mostró una disminución de nivel de agua muy drástica (1.4 m) con respecto al comportamiento del resto.

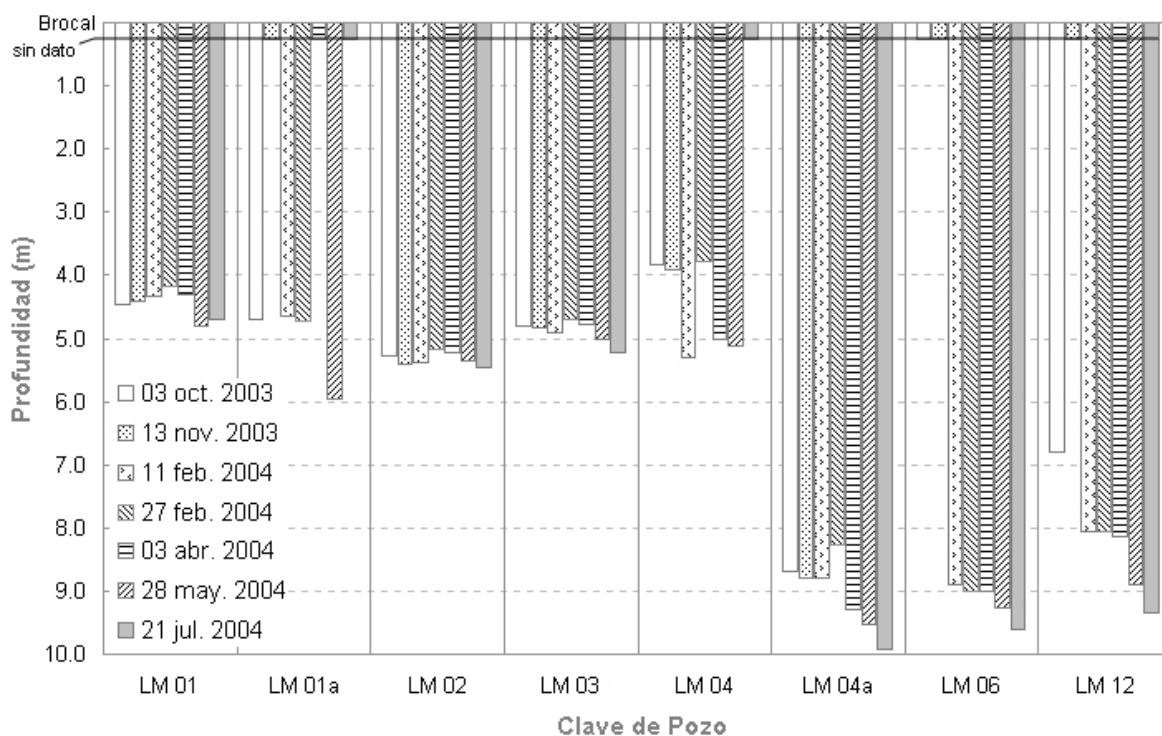


Figura 13. Evolución del nivel estático relativo en los Pozos Particulares visitados. Es posible apreciar la disminución de nivel de agua hacia julio de 2004 y el cambio drástico de febrero a abril en LM04. Pozos ordenados de acuerdo con su distancia a la costa. Se señalan las fechas sin medición con la recta horizontal gruesa.

Las norias presentan un comportamiento similar al de los pozos ya que los niveles disminuyen de octubre de 2003 a julio de 2004 (Figura 14). Al igual que en los pozos, la falta de registro en las norias se debe a que no hubo acceso a ellas.

La única noria que reflejó con claridad el efecto de la lluvia de febrero corresponde a LM07, la cual presentó una recuperación de más de 1 m, sin embargo esta noria fue destruida y cubierta después de abril de 2004. Destaca también la noria LM12a, que mantiene una disminución de nivel más o menos constante; no obstante, después de la lluvia su nivel permaneció prácticamente sin cambio con respecto a la medición anterior. En cambio, en el mismo período de lluvia, la noria LM16 sufrió una disminución de nivel de

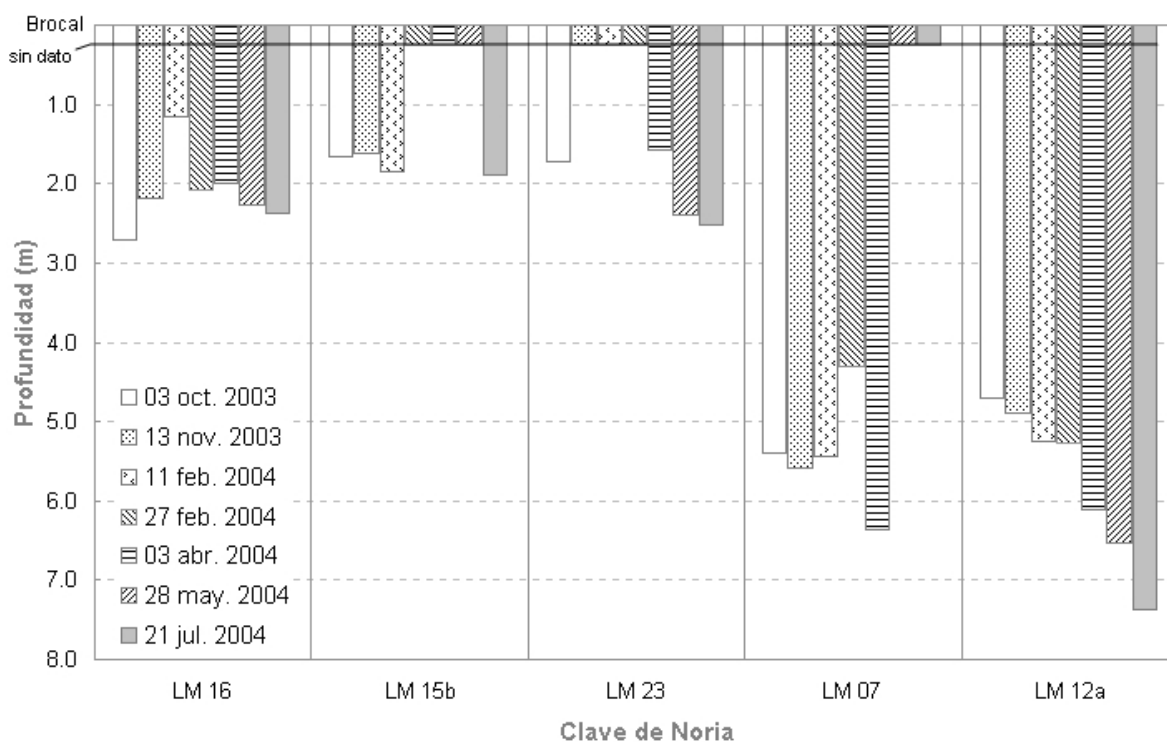


Figura 14. Evolución del nivel estático relativo en Norias. Se observa que también disminuyeron su nivel de agua hacia julio de 2004. Obsérvese el cambio drástico de LM16 en febrero y el aumento de nivel en LM07 durante la medición posterior a la lluvia (27 de febrero 2004). La recta horizontal gruesa marca las fechas sin medición.

aproximadamente 90 cm, posiblemente debido a que es el sitio más cercano a la costa y el flujo subterráneo aún no logró influenciar el volumen de agua contenido en ella.

Los testigos fueron utilizados originalmente en cuatro lagunas, pero la evaporación y extracción de agua provocaron que tres de ellas se secaran en su totalidad (Figura 15), por lo que no fue posible tener un registro completo del nivel de agua.

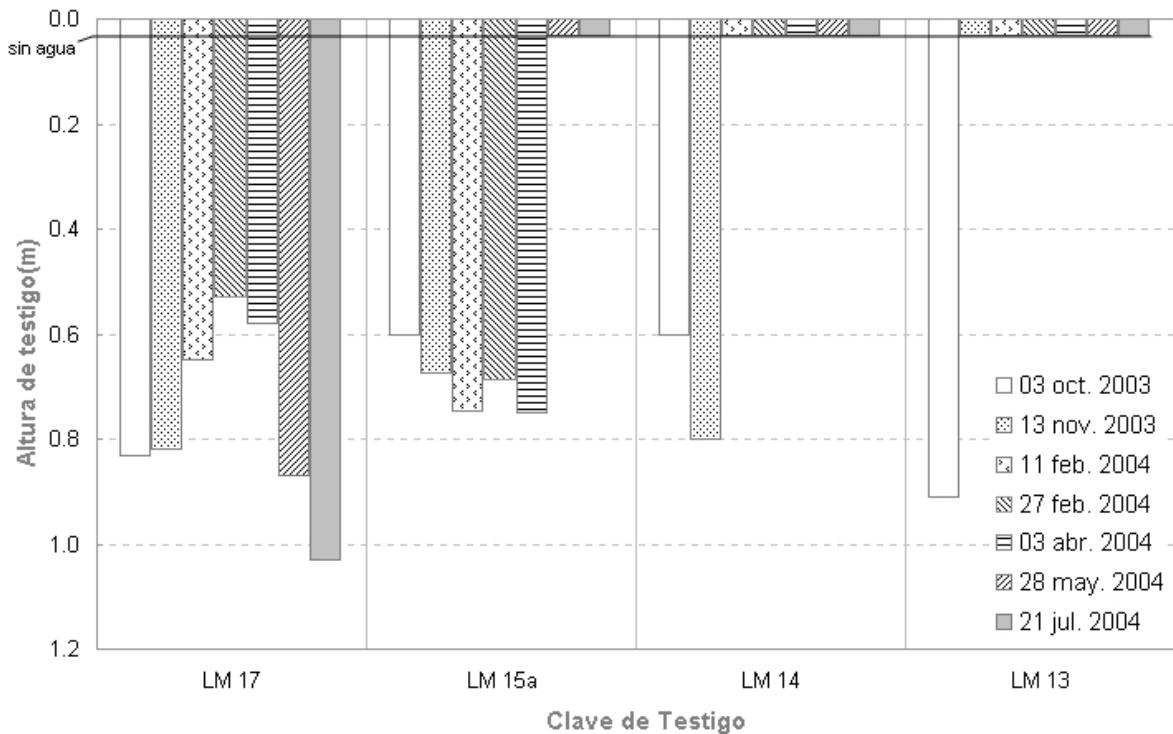


Figura 15. Evolución del nivel relativo en Lagunas utilizando testigos. Se marcan las fechas en que las lagunas se secaron totalmente. Obsérvese que la laguna costera LM17 aumentó su nivel después de la lluvia de febrero. Las otras lagunas se secaron totalmente antes de terminar el muestreo.

La velocidad de disminución de niveles de estas lagunas está relacionada con la distancia a la costa; es decir mientras más alejada más pronto desaparecieron. Tal es el caso del sitio LM13 que solamente registró una medición. El sitio LM17, a 140 m de la costa, tuvo un registro continuo durante todas las etapas de muestreo. La lluvia en la región también

se reflejó en los sitios LM15a y LM17, en los que se observaron aumentos de nivel de agua de 6 y 12 cm respectivamente.

Finalmente, la disminución de los niveles de agua en el acuífero de La Misión por la excesiva extracción y la extensiva evaporación en épocas de sequía se observa mejor en la figura 16, en donde se aprecia que esta laguna se secó totalmente en 9 meses, como lo muestran las imágenes del sitio donde se colocó el testigo LM13 tomadas en octubre de 2003 (a) y julio de 2004 (b).



Figura 16. Comportamiento del nivel de agua en el sitio del testigo LM13 durante octubre de 2003 (a) y julio de 2004 (b). Esta laguna es la que se encuentra más alejada de la costa (>5000 m).

VI.1.2. Sólidos disueltos totales (SDT) y conductividad eléctrica (CE).

La conductividad eléctrica es la capacidad de una sustancia para transmitir la corriente eléctrica y depende principalmente de la concentración de SDT (Hitchon *et al.*, 1999), por esto, en la presente tesis se trabajará solamente con el contenido de SDT.

Existen al menos dos métodos para obtener con precisión el contenido de SDT: (1) pesando el residuo después de evaporar un peso conocido de agua y (2) utilizando las concentraciones de iones y moléculas con base en un análisis químico completo (Hitchon *et al.*, 1999). Por razones obvias, el contenido de sales se determinó a través del análisis químico de las muestras de agua.

De esta manera, con base en el contenido de SDT, el agua puede clasificarse en potable, salobre, salina y salmuera (Fetter, 2001) (Tabla III).

Tabla III. Clasificación del agua con base en el contenido de SDT (Fetter, 2001).

<i>Tipo de agua</i>	<i>SDT (mg/l)</i>
Potable	0-1,000
Salobre	1,000-10,000
Salina	10,000-100,000
Salmuera	>100,000

El agua en el acuífero de La Misión se clasifica en general como salobre, sin embargo, en algunos sitios y tiempos los valores de SDT llegan a entrar al rango de agua salina y en otros al rango de agua potable. El contenido de SDT fue mayor en las muestras de lagunas mientras que los sitios con mejor calidad –en cuanto a contenido de sales– fueron los pozos de CESPE, los cuales se sitúan cerca del arroyo o sobre su lecho.

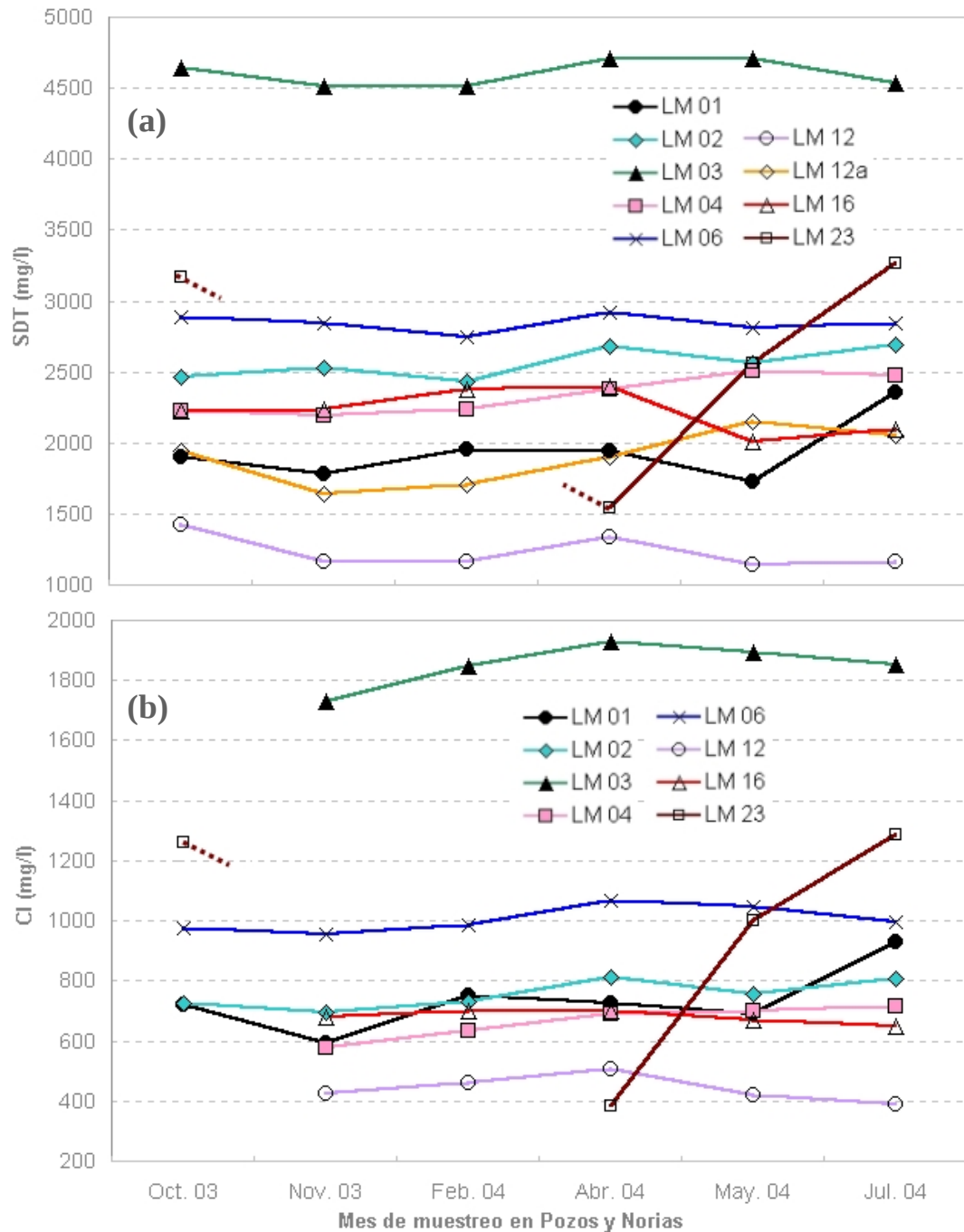


Figura 17. Evolución temporal del contenido de (a) SDT y (b) contenido de Cl⁻ en Pozos y Norias. Se observa un ligero aumento de SDT y Cl⁻ hacia mayo y julio de 2004 y una pequeña disminución en algunos de los sitios durante julio de 2004. Sobresale también el aumento drástico en LM23.

La conducta de los SDT y cloruros (Cl⁻) en norias y pozos particulares se muestra en la figura 17. Se observa en la mayoría de los casos que los valores más altos se presentaron

durante el mes de abril de 2004, mientras que los menores fueron durante noviembre de 2003. Llama la atención que, con algunas excepciones, durante julio de 2004, en general

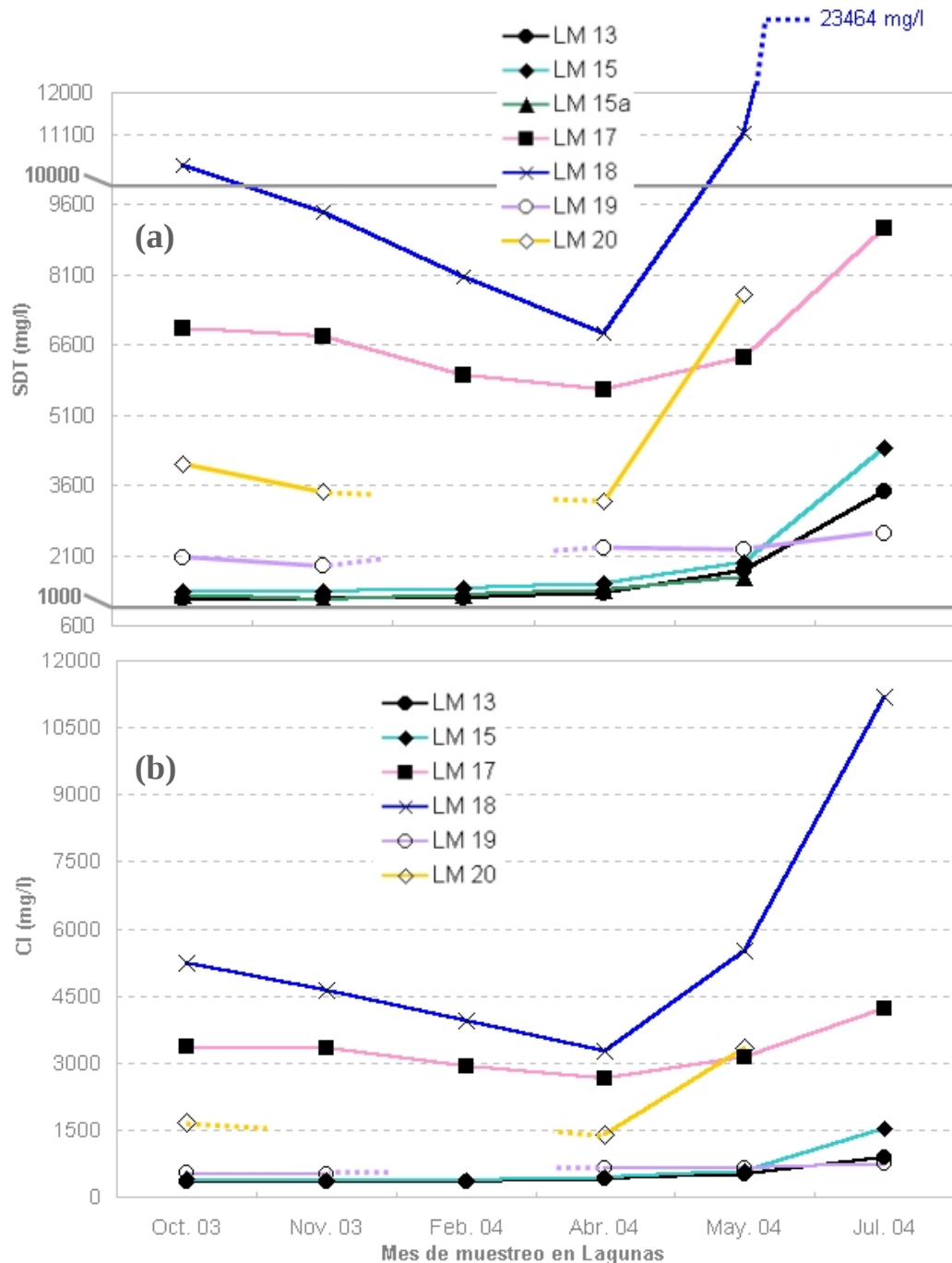


Figura 18. Evolución temporal del contenido de (a) SDT y (b) Cl⁻ en Lagunas. Nótese la laguna costera LM17 que presentó en julio de 2004 contenidos de SDT y Cl⁻ muy cercanos a los del mar. En (a) se marcan los límites de SDT para agua potable (1000 mg/l) y salobre (10000 mg/l).

los SDT disminuyeron con respecto a mayo del mismo año, hecho que no refleja el abatimiento de niveles de agua en los pozos que se pudo ver antes. Asimismo, la lluvia durante la última semana de febrero de 2004 no se observa en la mayoría de los registros posteriores a ella, al aumentar el contenido de SDT después de esta fecha, como LM02, LM06 y LM12. Cabe señalar que todas las muestras de norias y pozos particulares se encuentran por encima del límite del agua potable (>1000 mg/l) y que los valores máximos presentados en LM03 no alcanzan los 5000 mg/l. Además, el contenido de Cl^- , el ion más abundante en el agua, se grafica con la finalidad de comparar su comportamiento con el de las sales totales.

Por su parte, las lagunas tuvieron mayor contenido de SDT expresando de esta forma la mayor tasa de evapotranspiración a la que estuvo expuesta el agua superficial (Figura 18). La laguna LM18 presentó valores de SDT de más de 23000 mg/l durante julio de 2004, e incluso en octubre de 2003 y en mayo de 2004 presentó valores de SDT de agua salina mostrando la influencia de la evaporación e intrusión de agua marina. La muestra LM17, la más cercana a la costa, presentó siempre valores de SDT menores que LM18 (Figura 18), hecho que se discutirá con más detalle en el capítulo de interpretación.

Los pozos de CESPE presentaron los menores contenidos de SDT durante el muestreo (Figura 19). A excepción de la muestra tomada en octubre de 2003 en el pozo LM10, ningún muestreo presentó valores mayores al límite superior del agua potable (1000 mg/l).

En general los sitios más alejados de la costa presentaron una mejor calidad que los más cercanos a ella como las lagunas costeras que fueron las de más alta concentración de SDT y Cl^- y los pozos de CESPE que fueron los sitios de mejor calidad (Figura 20 y 21); sin

embargo existieron algunas excepciones, siendo el caso más visible el de las lagunas LM18, LM20 y el pozo LM03 que presentaron mayor contenido de SDT y Cl^- con respecto a las muestras LM17, LM19 y LM02 que se encuentran más cercanas a la costa (Figura 20 y 21).

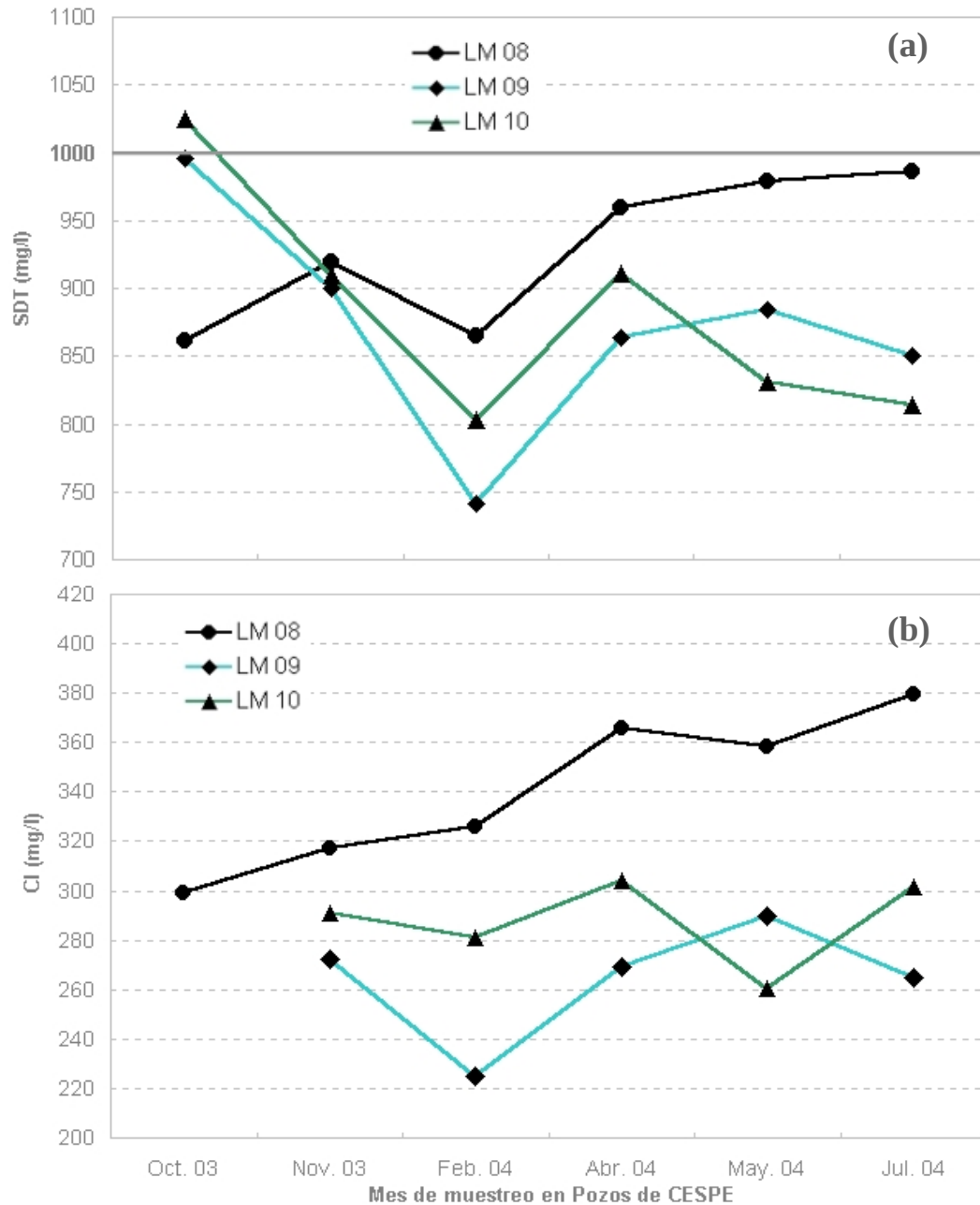


Figura 19. Evolución temporal del contenido de (a) SDT y (b) Cl^- en Pozos de CESPE. En LM08 se observa un aumento con el tiempo. En todos los pozos se presentan los valores más pequeños durante febrero de 2004.

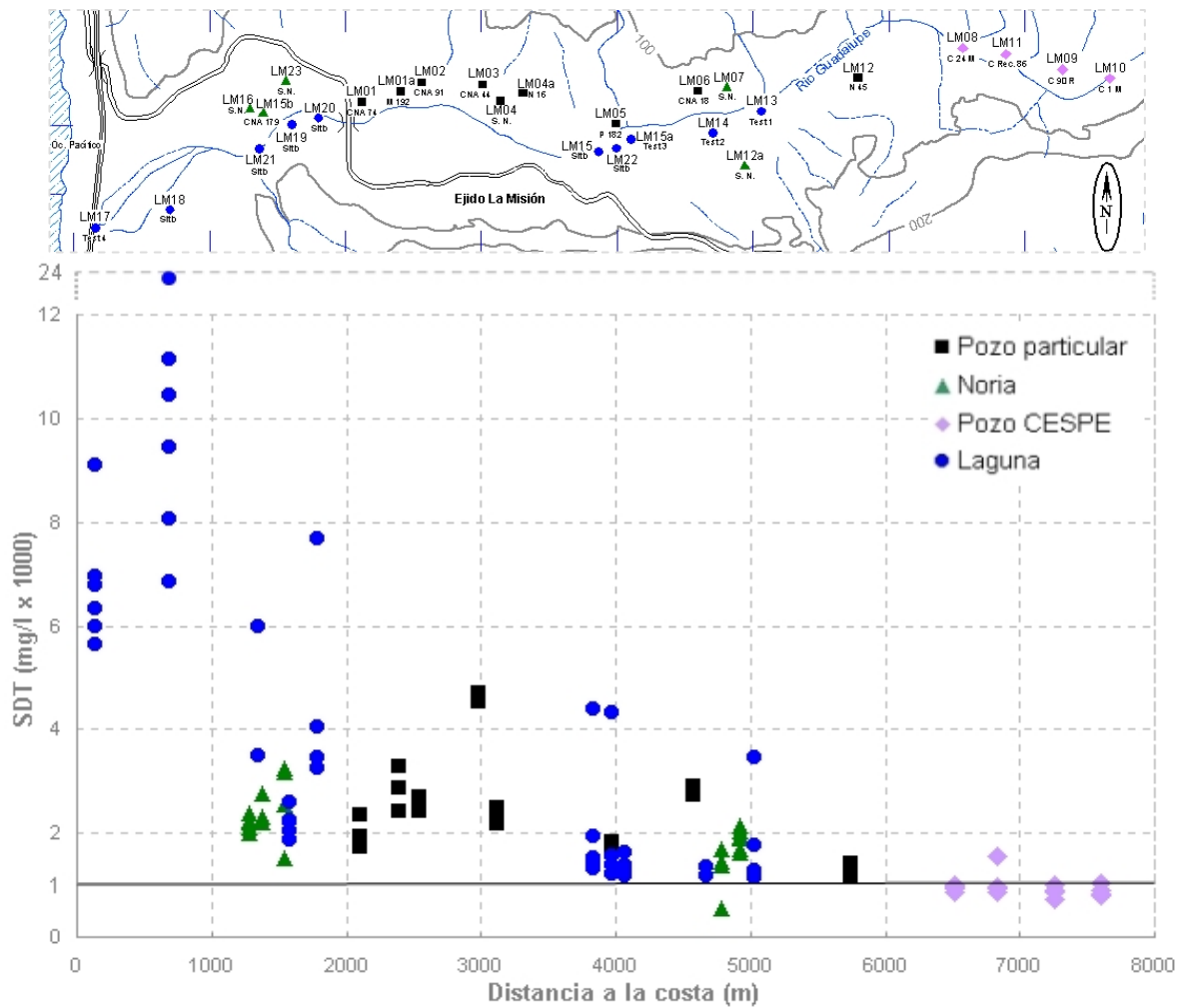


Figura 20. Comportamiento de la concentración de SDT en relación a su distancia con la costa. A la izquierda del gráfico se ubican las lagunas LM17 y LM18 con los valores de SDT más altos mientras que a la derecha se presentan los SDT menores. El plano superior geo-referencia las muestras.

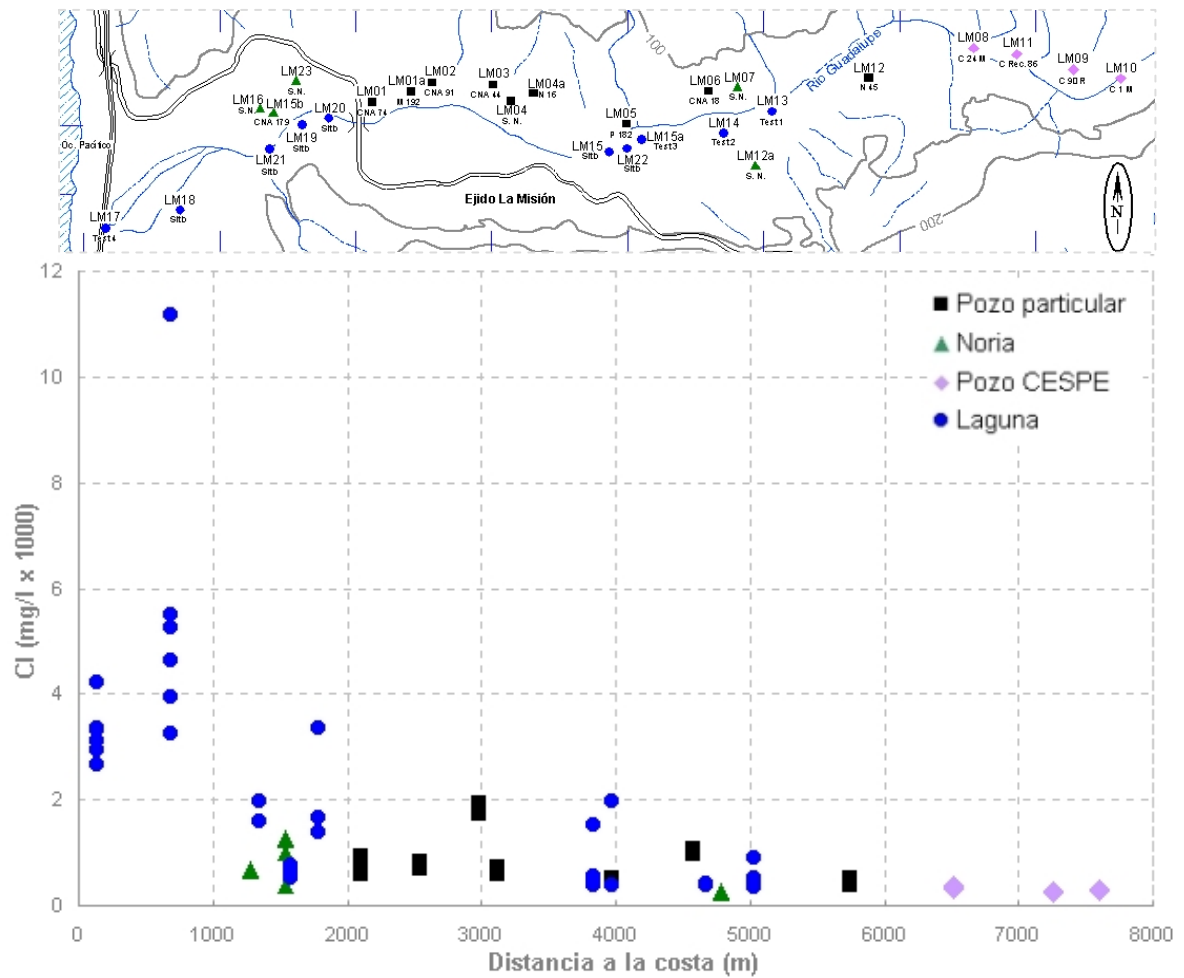


Figura 21. Comportamiento de la concentración de cloruros (Cl-) en relación a su distancia con la costa. Se aprecia una tendencia a disminuir el contenido al alejarse de la costa.

VI.1.3. pH y temperatura

Uno de los parámetros químicos más importantes es el potencial de hidrógeno o pH, ya que se involucra en los principales procesos químicos que ocurren en las aguas naturales, como las reacciones de ácido-base, de creación de complejos químicos, de disolución y precipitación química, de oxidación-reducción y de adsorción (Pankow, 1991).

El rango de pH más común del agua superficial se encuentra entre 6.5 y 8.5, mientras que el agua subterránea fluctúa entre 6 y 8.5 (Hem, 1985). Con base en esto, las muestras de pozos y norias analizadas en campo caen en el rango normal de las aguas naturales al registrar un mínimo de 6.6 y un máximo de 8.3. Por su parte, algunas muestras de lagunas rebasaron el promedio de pH en agua marina superficial (8.2) (Langmuir, 1997) (Figura 22).

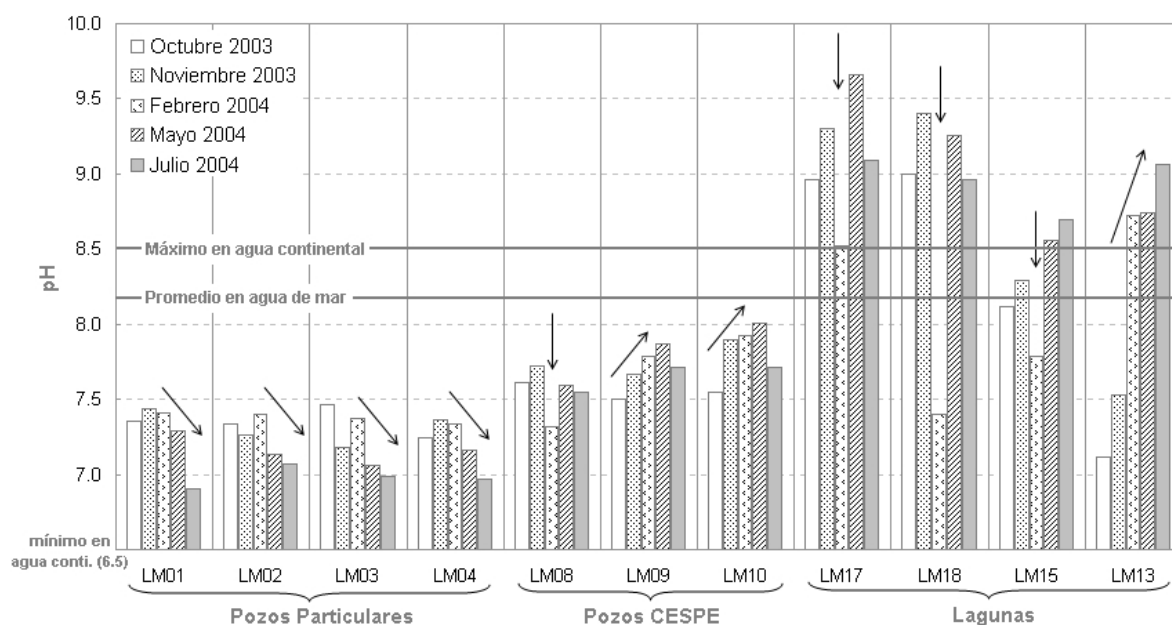


Figura 22. Potenciales de hidrógeno en sitios muestreados. Se muestran sólo los sitios que presentaron las tendencias que son indicadas con flechas. Las flechas verticales señalan el cambio pronunciado de pH en febrero de 2004. Se señala también el rango de pH en agua continental y el promedio en agua marina (Hem, 1985; Langmuir, 1997). En cada tipo de sitio, las muestras a la izquierda están más cercanas al océano.

Los pozos particulares mostraron una tendencia a disminuir el pH de noviembre de 2003 a julio de 2004 que coincide con la etapa de mayor sequía en el área de La Misión. En cambio, los pozos de CESPE (LM09 y LM10) muestran un aumento continuo desde octubre de 2003 hasta mayo de 2004 y una disminución en julio del mismo año. Asimismo, el pozo de CESPE LM08 y la mayoría de las lagunas presentaron una disminución de pH en febrero de 2004, resaltando el hecho de que estas disminuciones se registraron antes de la lluvia ocurrida en el mismo mes (Figura 22).

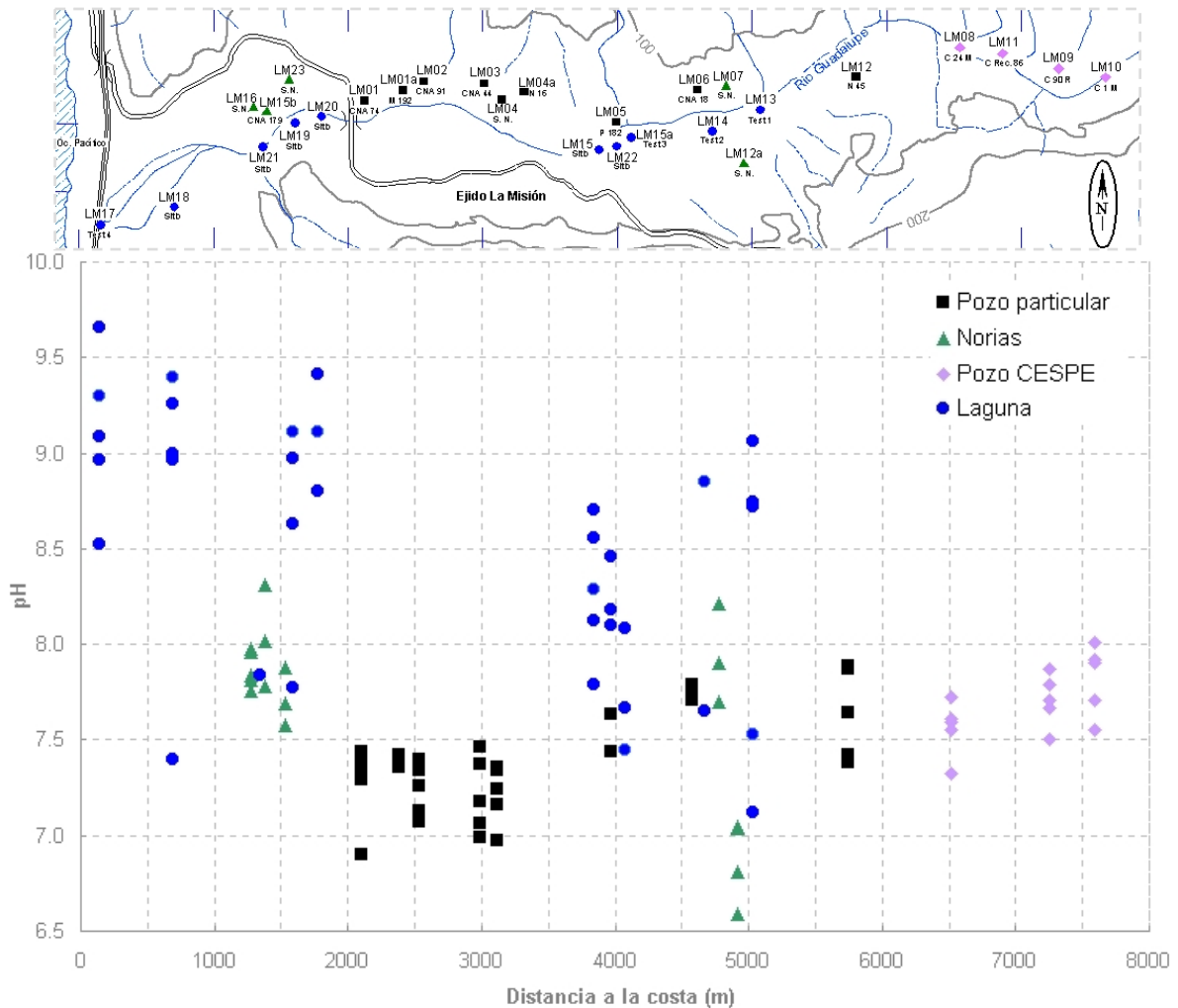


Figura 23. Comportamiento del pH en relación a su distancia con la costa. Los valores de potencial de hidrógeno más elevados se presentaron en las lagunas cercanas a la costa, en donde $\text{pH} > 9$.

Del sitio LM18 sobresale el cambio drástico de pH que existe entre los meses de noviembre de 2003, febrero y abril de 2004, en donde el valor inicia en 9.4, baja hasta 7.4 y vuelve a aumentar a 9.3. Algo similar ocurre en los sitios LM15 y LM17 (Figura 22).

Los sitios muestreados no presentaron ningún patrón de comportamiento visible en relación con la distancia a la costa; sin embargo se presentan en la figura 23 todos los valores de potencial de hidrógeno obtenidos durante el período de muestreo.

La importancia de la temperatura radica en que gran parte de las reacciones químicas que ocurren en la misma son propensas a aumentar su velocidad con el aumento de la temperatura (Langmuir, 1997).

La mayoría de las muestras de pozos particulares, norias y lagunas presentaron mayor temperatura durante julio obedeciendo al comportamiento de la temperatura del ambiente (Figura 24). Los pozos de CESPE mostraron las temperaturas más altas al alcanzar los 40°C, pero no se observó alguna relación con la temporada de muestreo.

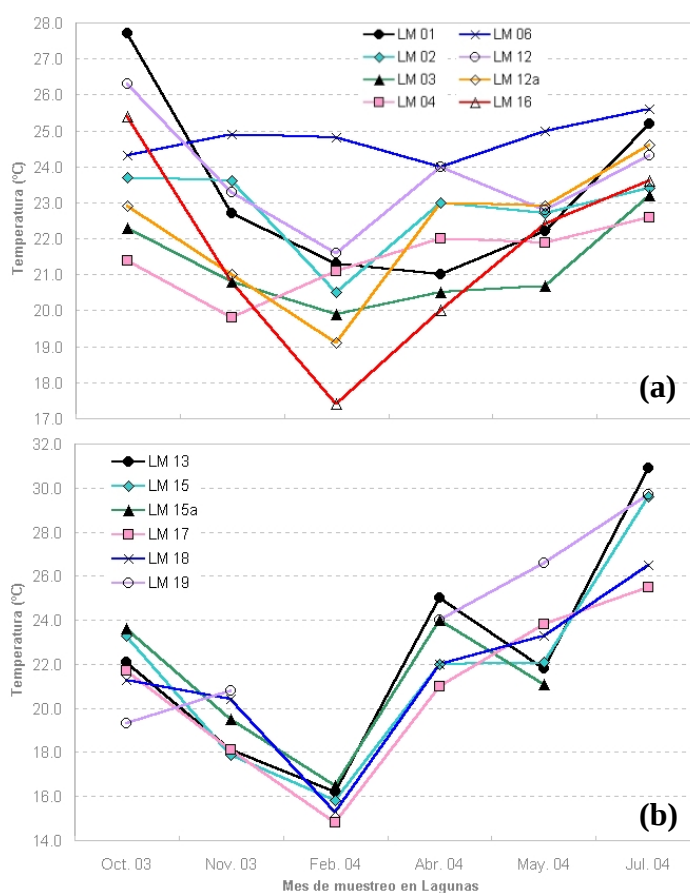


Figura 24. Temperatura de las muestras de pozos particulares y norias (a) y lagunas (b) con respecto a la fecha de muestreo. Es visible el aumento de temperatura en las lagunas durante julio de 2004.

En general la temperatura no tuvo variaciones con respecto a la distancia con la costa; no obstante, de acuerdo al tipo de sitio se pueden distinguir rangos variados, como es el caso de las lagunas cuyo rango fue más amplio, con valores que van desde 15°C en el sitio LM17 hasta 31°C en el sitio LM13 (Figura 25). A su vez, los rangos de temperatura de norias y pozos particulares fueron más estables al rondar entre 17.1°C y 27.7°C (Figura 25). Las temperaturas elevadas en los sitios de CESPE se observan en la figura 25.

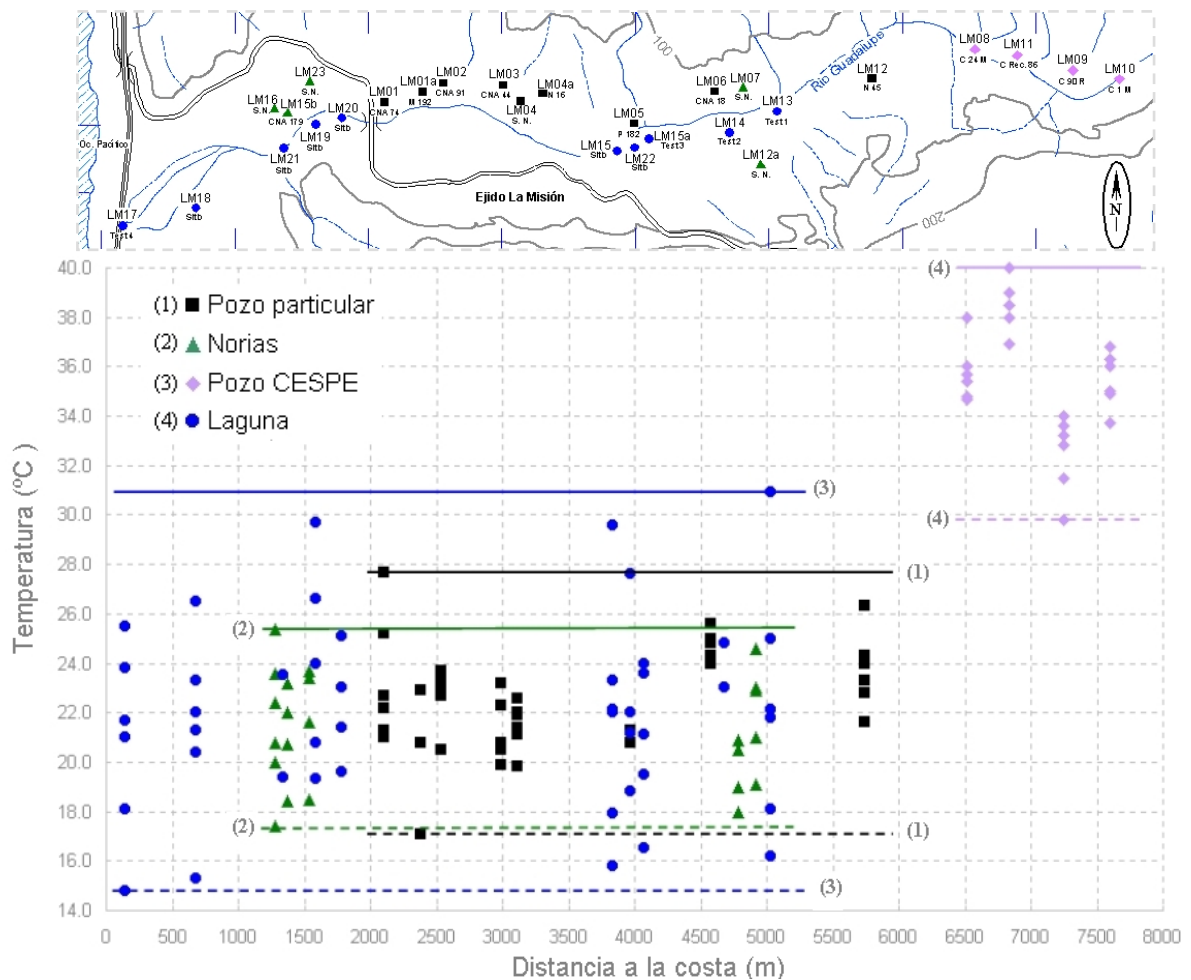


Figura 25. Relación de la temperatura de las muestras con su distancia a la costa. Obsérvese las altas temperaturas de los pozos de CESPE. Las líneas representan el límite inferior (discontinua) y superior (continua) de cada tipo de sitio, identificado por los números de la leyenda.

VII. RESULTADOS DE LABORATORIO

Los resultados de laboratorio serán presentados en dos secciones: (1) la de las concentraciones de aniones obtenidas a través de la cromatografía de iones en el laboratorio de hidrogeoquímica de CICESE y (2) la de contenidos de cationes y otros elementos determinados con ICP en los laboratorios de ActLabs. En la parte 1 se incluyen los resultados de contenido del ion bicarbonato obtenidos por titulación en campo (HCO_3^-).

Los resultados de la concentración de aniones y cationes en cada muestra fueron verificados mediante el cálculo del error de balance de carga o electroneutralidad (E.N.), el cual se fundamenta en el hecho de que en todos los análisis químicos debe existir un equilibrio en el contenido de aniones y cationes. La E.N. se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\text{E.N. (\%)} = \frac{\sum (z \times c_c) - \sum (z \times c_a)}{\sum (z \times c_c) + \sum (z \times c_a)} \quad \text{donde } \begin{array}{l} z \text{ es la carga del ion} \\ c_c \text{ es la conc. del catión (en meq/l)} \\ c_a \text{ es la conc. del anión (en meq/l)} \end{array} \quad (4)$$

de esta forma, el valor óptimo de la E.N. es cero o un valor cercano a él, pero no mayor a 5%. Estos cálculos se hicieron tomando en cuenta la información de aniones y cationes de cada una de las muestras.

Los resultados de E.N. se presentan en la figura 26, en donde se grafica la media de los valores medidos en cada sitio a lo largo de los 6 meses de muestreo, y además se marca su rango de valores y la desviación estándar en cada muestra. Como se puede observar, todas las muestras se encuentran dentro del margen de tolerancia, por lo que se puede afirmar que los resultados mostrados son confiables. Los casos de los muestreos en LM04 y LM16, son

las dos excepciones a lo anterior, pero fueron considerados correctos al sobrepasar el límite de error en menos de 0.06%.

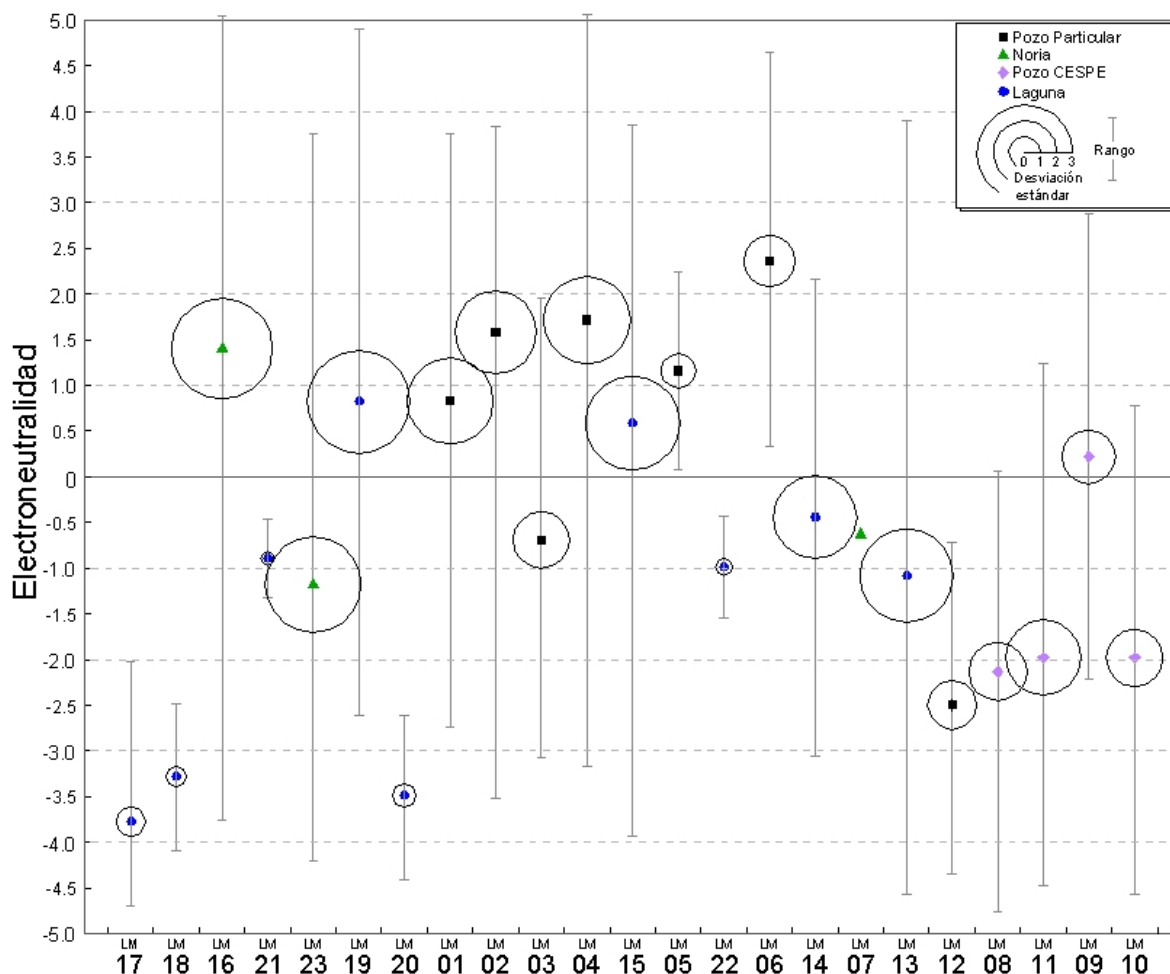


Figura 26. Valores de electroneutralidad promedio. Se muestra el rango y desviación estándar calculada para cada sitio de muestreo. De izquierda a derecha los sitios se van a alejando de la costa.

VII.1. ANIONES

El análisis cromatográfico de las muestras recolectadas en campo fue realizado con el equipo ICS-2000. El contenido de aniones mayores incluye a los fluoruros (F^-), los cloruros

(Cl⁻), los sulfatos (SO₄²⁻) y los nitratos (NO₃⁻), así como la concentración de bicarbonato (HCO₃⁻) obtenida en el sitio de muestreo. Los datos completos se muestran en el Anexo I.

El contenido promedio de estos aniones en agua superficial, subterránea y océanos se muestra en la Tabla IV, en donde se observa la predominancia del ion bicarbonato en las aguas continentales y de los cloruros y sulfatos en agua marina. En esta tabla también se muestran los límites máximos permisibles de agua para consumo humano en México, establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994) (S.S.A., 2000) y datos de la guía de calidad de agua de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2004).

Tabla IV. Concentración de aniones en diferentes tipos de agua; las unidades están dadas en mg/l. Datos de Langmuir (1997), Hem (1985), S.S.A. (2000) y WHO (2004). s.d. = sin dato.

<i>Componente</i>	<i>Agua superficial</i>	<i>Agua subterránea</i>	<i>Agua marina</i>	<i>NOM</i>	<i>WHO</i>
HCO ₃ ⁻	58.0	200	142	500	s.d.
Cl ⁻	7.8	20	19,000	250	250
SO ₄ ²⁻	3.7	30	2,700	400	500
F ⁻	0.1	s.d.	1.3	1.5	1.5
NO ₃ ⁻	<10.0	s.d.	s.d.	10	50

El dominio del Cl⁻ en el agua de mar, es el resultado lógico del control sobre la salinidad que ejerce este ion junto con el sodio. Por lo que la presencia de éste en los acuíferos costeros se encuentra relacionada con la intrusión de agua salina (Steinich *et al.*, 1998). Además, el Cl⁻ es uno de los iones más solubles en agua, presenta el mayor tiempo de residencia y es uno de los más inertes en solución (Langmuir, 1997).

De la misma forma, se puede apreciar que los fluoruros se encuentran disueltos en el agua en cantidades pequeñas; no obstante, es considerado como un soluto mayor por Hem (1985), ya que su concentración en el agua potable es determinante en la formación de huesos y dientes de los organismos superiores y un exceso puede ocasionar el deterioro de los mismos (WHO, 2004).

VII.1.1. Contenido de Aniones

Los Cl^- presentaron una ligera tendencia a aumentar su concentración de octubre de 2003 a julio de 2004 y presentó un mínimo de 225 mg/l en el pozo de CESPE LM09 y un máximo de 11187 mg/l en la laguna LM18 (Figura 27). Esta laguna también presentó la máxima concentración de sulfatos y fluoruros (Figura 27 y 28), mientras que las concentraciones mínimas de estos aniones se presentaron en los sitios de CESPE (≈ 100 mg/l de SO_4^{2-} y ≈ 2.5 mg/l de F^-).

El contenido de aniones en la mayoría de las muestras sobrepasó los límites máximos para el consumo humano de la NOM (Tabla IV) (Figuras 27 y 28). En cambio el bicarbonato es el único componente con concentraciones menores a los de esta norma (500 mg/l), con excepciones de algunos de los muestreos de norias y pozos particulares, que se agrupan en la parte superior de la figura 28.

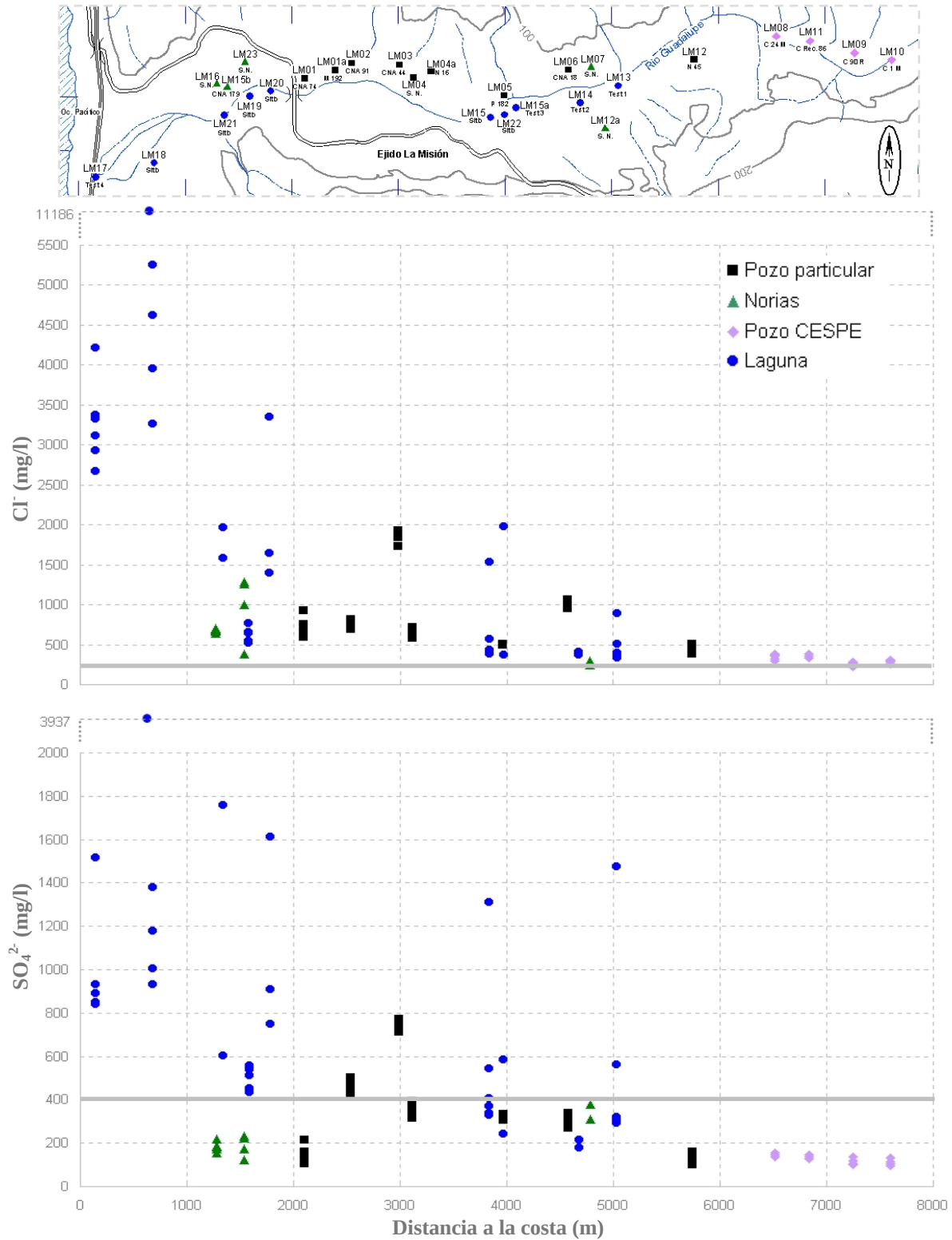


Figura 27. Concentración de Cl^- y SO_4^{2-} de los sitios de muestreo con respecto a su distancia con la costa. Líneas continuas son los límites de la NOM.

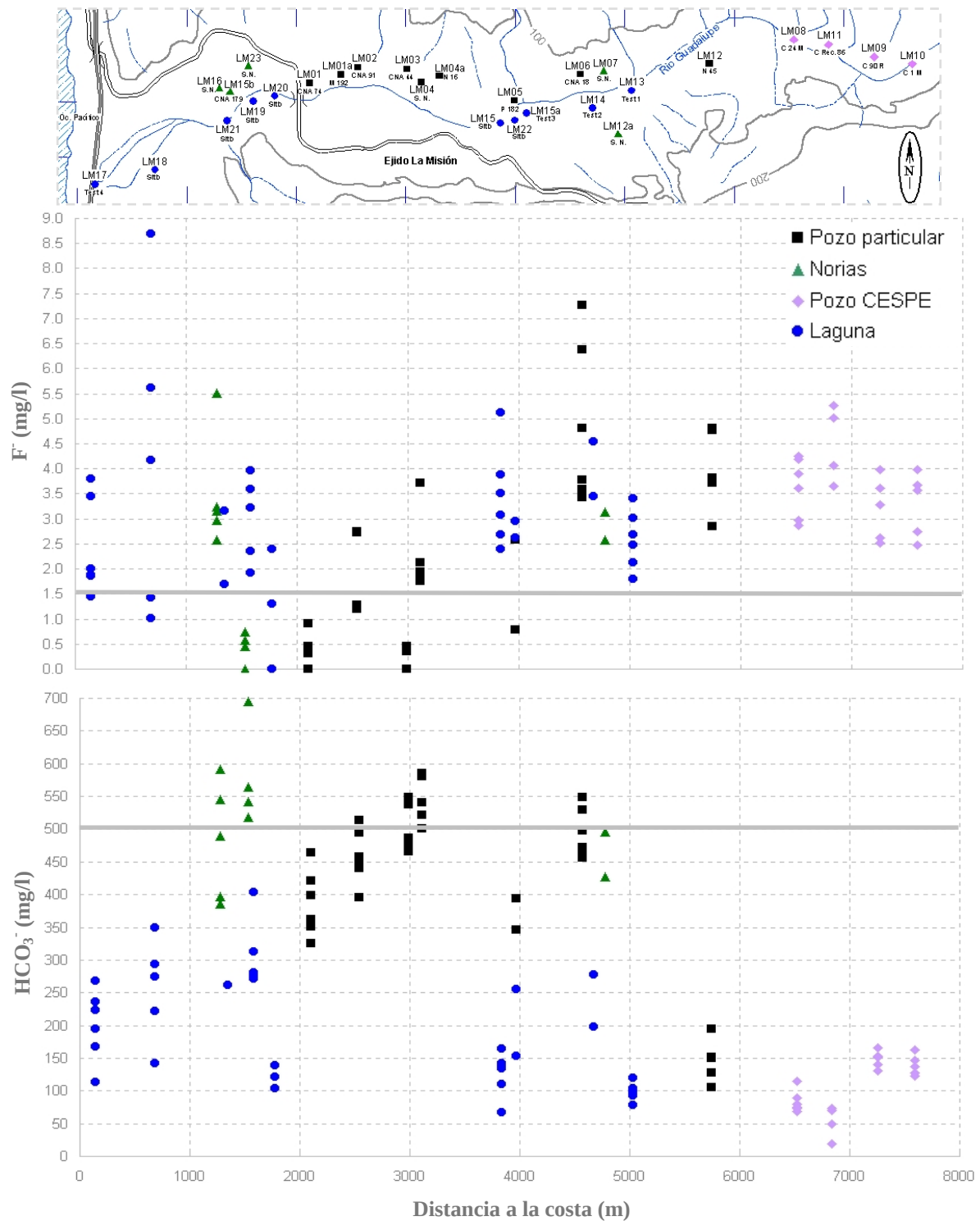


Figura 28. Concentración de F^- y HCO_3^- con respecto a la distancia con la costa. Se señalan los límites de la NOM.

El contenido de bicarbonato en los pozos de CESPE muestra una relación con el pH al aumentar el pH con el incremento de bicarbonato (Figura 29). En esta misma figura se aprecia mejor el agrupamiento de los pozos y norias en donde fueron medidos los valores más altos de HCO_3^- .

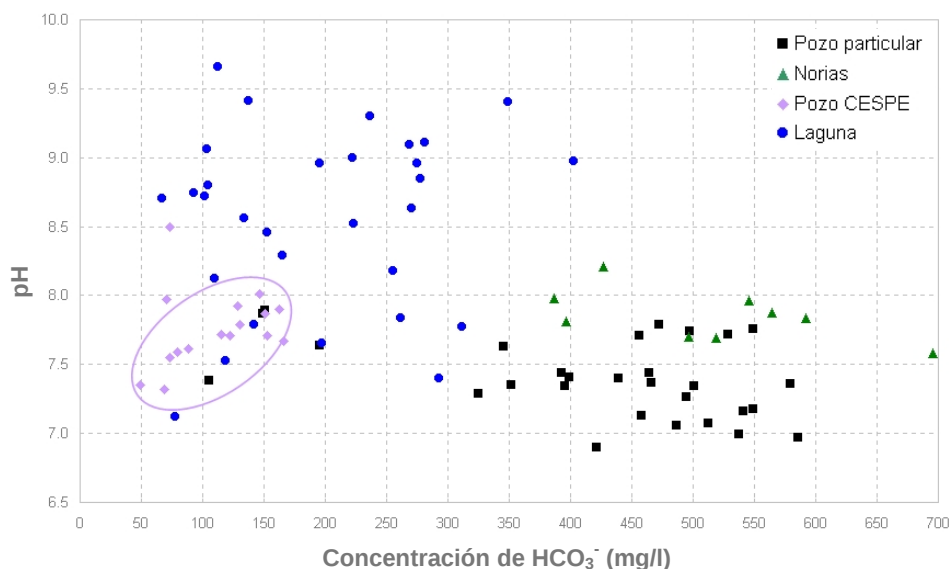


Figura 29. Relación entre el contenido de Bicarbonato y el pH. Se observa una tendencia en los sitios de CESPE marcada con una elipse y los pozos y norias se agrupan a la derecha con los valores de HCO_3^- más elevados.

El NO_3^- en el agua es un posible indicador de contaminación por desechos orgánicos normalmente antropogénicos (Hem, 1985) y éste se presenta en concentraciones menores al límite de la NOM (10 mg/l) en los pozos de CESPE y las lagunas, con un rango de concentración de 0 a 6 mg/l. Sin embargo, en los pozos particulares y norias, fueron registrados varios muestreos en donde se sobrepasó el límite permitido por la NOM, e incluso la noria LM16, durante abril rebasó el límite de la OMS al alcanzar los 64 mg/l (Figura 30).

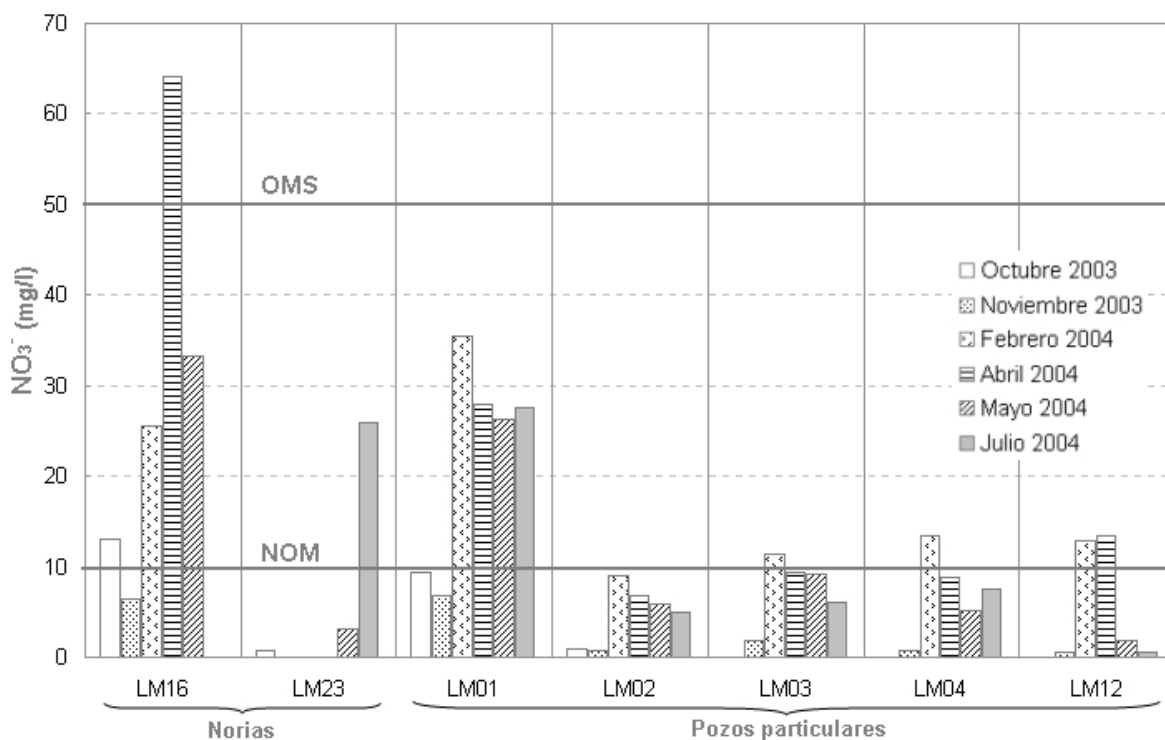


Figura 30. Comportamiento de la concentración de NO_3^- en pozos particulares y norias. La noria LM16 registró los valores más altos, sobrepasando durante mayo el límite de la OMS. De izquierda a derecha los sitios se alejan de la costa.

Los cloruros y los sulfatos presentan en general una tendencia a aumentar su concentración con el aumento de la temperatura en las muestras de CESPE, observándose que la relación de los cloruros contra la temperatura es aún más directa que en los sulfatos (Figura 31). También en esta figura se observa que el contenido de HCO_3^- disminuye al aumentar la temperatura, respondiendo a la propiedad general de los carbonatos, los cuales poseen menor solubilidad en altas temperaturas (Langmuir, 1997).

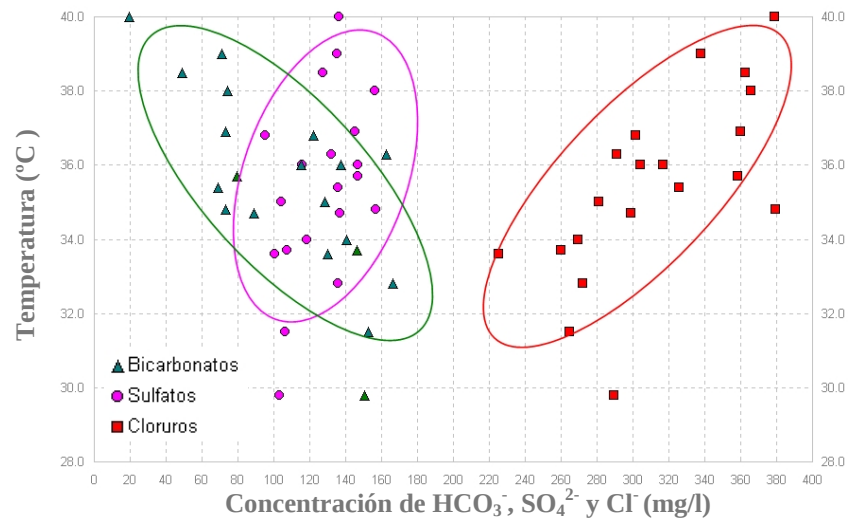


Figura 31. Contenido de Bicarbonatos, Sulfatos y Cloruros en relación con la temperatura en los sitios de CESPE. Las elipses marcan las tendencias generales de cada componente.

VII.2. ELEMENTOS ANALIZADOS CON ICP

La espectrofotometría de emisión atómica de plasma por acoplamiento inductivo (ICP) cuantificó la concentración de los elementos mostrados en la Tabla V y en el anexo II.

Tabla V. Elementos analizados con ICP por ActLabs. Clasificación basada en Hem (1985). Explicación: ¹ elemento principal, ² elemento secundario, ^a presente en algunas muestras, ^b no detectado.

<i>Elementos</i>		
<i>Mayores</i>	<i>Traza</i>	
Al ^{a 2}	Ag ^b	Pb ^a
B ²	As ^a	Sb ^a
Ca ¹	Ba	Se ^b
Fe ²	Bi ^a	Sn ^a
K ¹	Cd ^a	Sr
Mg ¹	Ce ^b	Te ^a
Mn ²	Co ^b	Ti ^a
Na ¹	Cr ^b	Tl ^a
P ²	Cu	U ^a
S ²	Li	V ^a
Si ²	Mo	Y ^b
	Ni ^a	Zn

Por motivos prácticos, en este trabajo los elementos mayores fueron separados en principales y secundarios. Por otro lado, algunos elementos traza (y el aluminio) se presentaron en muy pocas muestras, mientras que otros elementos no se detectaron en ninguna muestra, como la plata (Ag), el cesio (Ce), el cobalto (Co), el cromo (Cr), el selenio (Se) y el itrio (Y).

VII.2.1. Elementos Mayores Principales

Los elementos mayores principales considerados en esta tesis son el calcio (Ca), el potasio (K), el magnesio (Mg) y el sodio (Na), cuyas formas disueltas en agua más comunes son Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} y Na^+ , respectivamente (Hem, 1985). Sus concentraciones promedio en distintas aguas naturales se presentan en la Tabla VI. La NOM sólo publica el máximo permisible de Na, mientras que el valor de referencia del resto de los elementos fue obtenido de datos de la Comunidad Europea (Tabla VI) (Hitchon *et al.*, 1999).

Tabla VI. Concentración de los cationes principales en diferentes tipos de agua; unidades en mg/l. Datos de Langmuir (1997), Hem (1985), S.S.A. (2000) y Hitchon *et al.* (1999). s.d. = sin dato.

<i>Componente</i>	<i>Agua superficial</i>	<i>Agua subterránea</i>	<i>Agua marina</i>	<i>NOM</i>	<i>COM. EUROPEA</i>
Na^+	6.3	30	10,500	200	150
Mg^{2+}	4.1	7	1,350	s.d.	12
K^+	2.3	3	390	s.d.	50
Ca^{2+}	15	50	410	s.d.	100

El Na, al igual que el Cl, es uno de los elementos más solubles y la relación entre estos dos iones es el control principal de la salinidad del agua (Hem, 1985). Como se observa en la Tabla V, en el agua de mar es el catión que predomina. La figura 32 muestra el contenido y comportamiento de Na en las muestras analizadas con respecto a la distancia con la costa; en ella se pueden observar los valores elevados de sodio en las lagunas, los que alcanzan un máximo de 6500 mg/l y tienen una ligera tendencia a disminuir con la distancia al océano.

Casi todas las muestras sobrepasan el límite máximo permisible de Na por la NOM (Figura 33). La excepción son las colectadas en los sitios LM09 y LM10 de CESPE, con valores entre 176 y 202 mg/l.

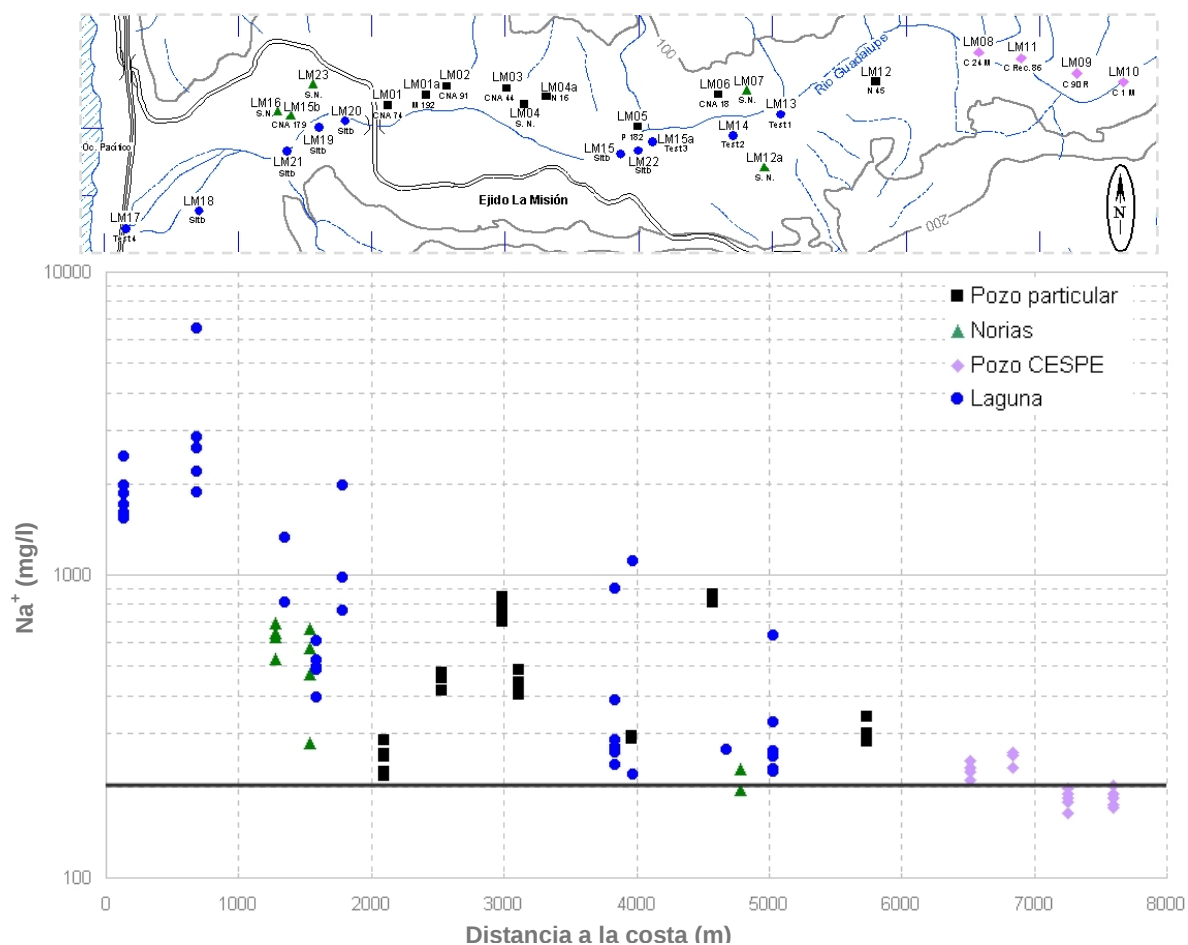


Figura 32. Comportamiento en escala semilogarítmica de la concentración de Sodio (Na^+) en relación con la distancia a la costa. Se observa una ligera tendencia a disminuir al alejarse de la costa. La línea oscura marca el límite de la NOM.

En el caso del magnesio, el mayor catión presente en agua marina después del sodio y elemento esencial en la nutrición de plantas y animales (Hem, 1985), se presenta con concentraciones mayores a las del agua continental pero muy por debajo de las de agua marina (Figura 33).

En el agua, el Mg^{2+} y el Ca^{+} tienen un comportamiento químico similar al contribuir a la dureza del agua; sin embargo, el calcio no presentó relación alguna con la distancia a la costa, mientras que el magnesio sí lo hizo al disminuir del litoral hacia el continente.

Las concentraciones más elevadas de Mg^{2+} se encuentran en las lagunas con valores de hasta 776 mg/l en LM18 pero disminuyen a menos de 30 unidades en LM14, valor no tan pequeño si es comparado con el máximo en los sitios de CESPE que corresponde al pozo LM10 con 18 mg/l.

El contenido de calcio, a su vez, presenta un rango de entre 40 y 430 mg/l, aunque la mayoría de los sitios no sobrepasan las 250 unidades, las excepciones incluyen al pozo LM03 en el que todos los muestreos sobrepasaron 420 mg/l y los sitios LM13 y LM15 que lo hicieron en la muestra correspondiente a julio de 2004. Los menores contenidos de Ca^{2+} se registraron en los sitios de CESPE y la noria LM16 con valores inferiores a 70 mg/l.

Por otra parte, el potasio es el elemento que se encuentra en menor cantidad en comparación con el resto de los componentes mayores principales. Este elemento es esencial en el desarrollo de vegetación y suelos fértiles (Hem, 1985).

En el acuífero, las concentraciones de K^{+} rebasan los niveles de la media para agua continental, incluso durante julio de 2004 fue medido un nivel de 398 mg/l que se encuentra sobre el promedio de concentración en agua de mar (Figura 33). Los valores más pequeños se presentan de nuevo en los sitios de CESPE, oscilando entre 4 y 6 mg/l, no obstante, algunos pozos particulares se acercan a él y presentan contenidos dentro de ese rango, como el LM06 y el LM12 (entre 4 y 7 mg/l).

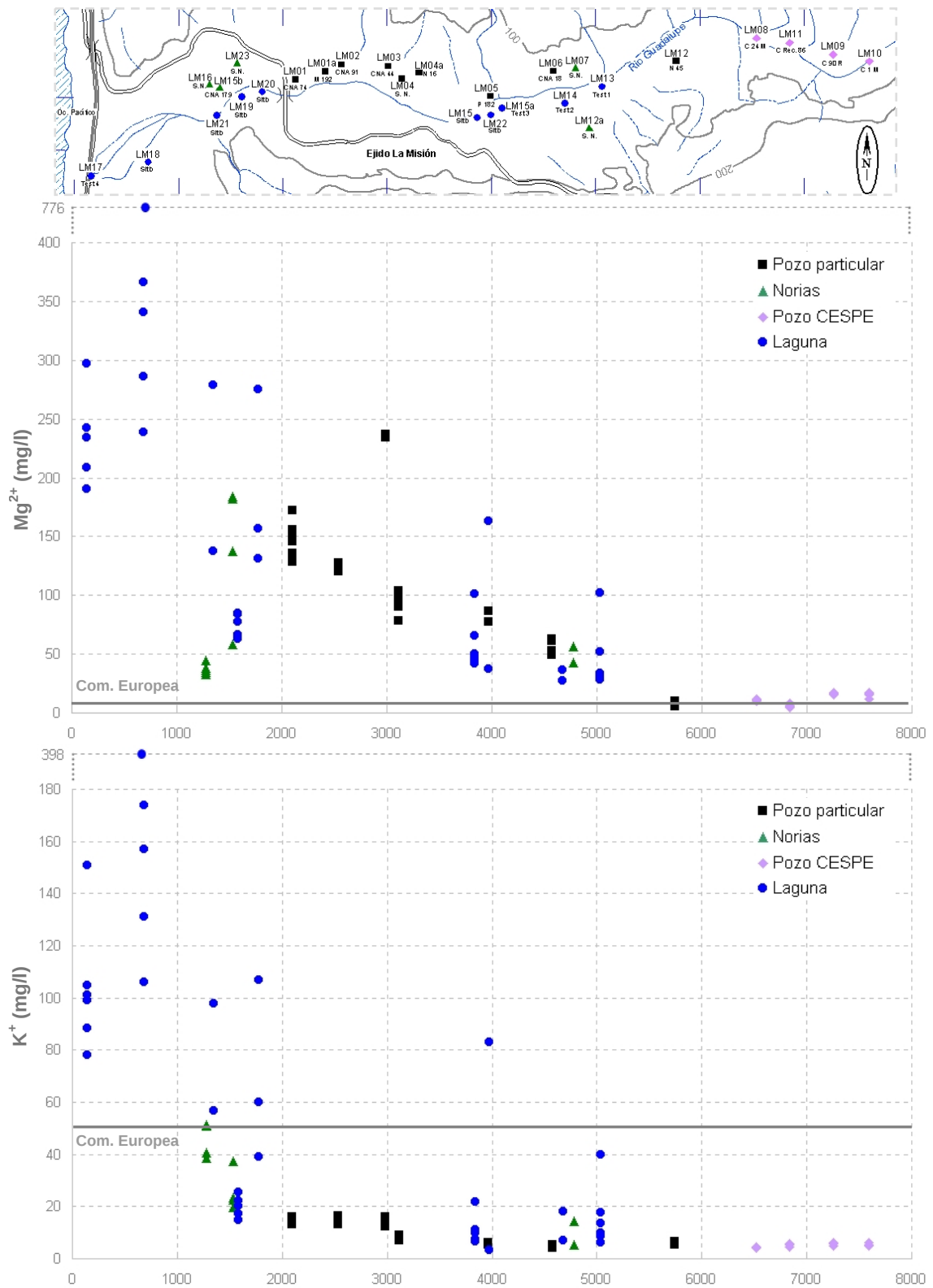


Figura 33. Comportamiento del Mg^{2+} y K^+ en relación con la distancia a la costa. Se representa con línea continua el límite máximo en la comunidad europea

VII.2.2. Elementos Mayores Secundarios

Los elementos mayores secundarios son el boro (B), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el fósforo (P), el azufre (S) y el silicio (Si). Con excepción del S, la abundancia de estos elementos en los distintos tipos de agua es presentada en la Tabla VII, en la que se observa que los límites máximos de algunos no se exigen en la NOM ni se mencionan en la guía de la Organización Mundial de la Salud.

Tabla VII. Concentración de los elementos mayores secundarios en diferentes tipos de agua; unidades en mg/l. Datos de Langmuir (1997), Hem (1985), S.S.A. (2000) y WHO (2004). s.d. = sin dato.

<i>Componente</i>	<i>Aguas continentales</i>	<i>Agua marina</i>	<i>NOM</i>	<i>OMS</i>
SiO ₂	15	s.d.	s.d.	s.d.
B	0.01	4.5	s.d.	0.5
Mn	0.015	0.002	0.15	0.4
P	0.02	s.d.	s.d.	s.d.
Fe	0.1	0.003	0.3	0.3

La razón por la que el azufre no fue reportado en este capítulo es que, como especie disuelta, el S se encuentra comúnmente en forma del ion sulfato. Debido a esto y para verificar el resultado de contenido de S y SO₄²⁻, a partir de la concentración del primero se cuantificó la presencia del segundo (Anexo III) y se obtuvo un resultado similar (considerando que la totalidad del azufre forma solamente sulfato).

El silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza de la tierra, fue reportado en las dos primeras columnas de la Tabla VII como sílica (SiO₂), lo cual es una convención adoptada por los analistas de agua y utilizada en esta tesis para referirse a la sílica disuelta;

no obstante, es útil señalar que la forma real que toma el Si es el ácido silícico H_4SiO_4 (Hem, 1985). Por tanto, en este trabajo, el contenido de SiO_2 (al igual que el SO_4^{2-}) fue obtenido a partir de la concentración del elemento Si, y sus resultados completos se presentan en el anexo IV.

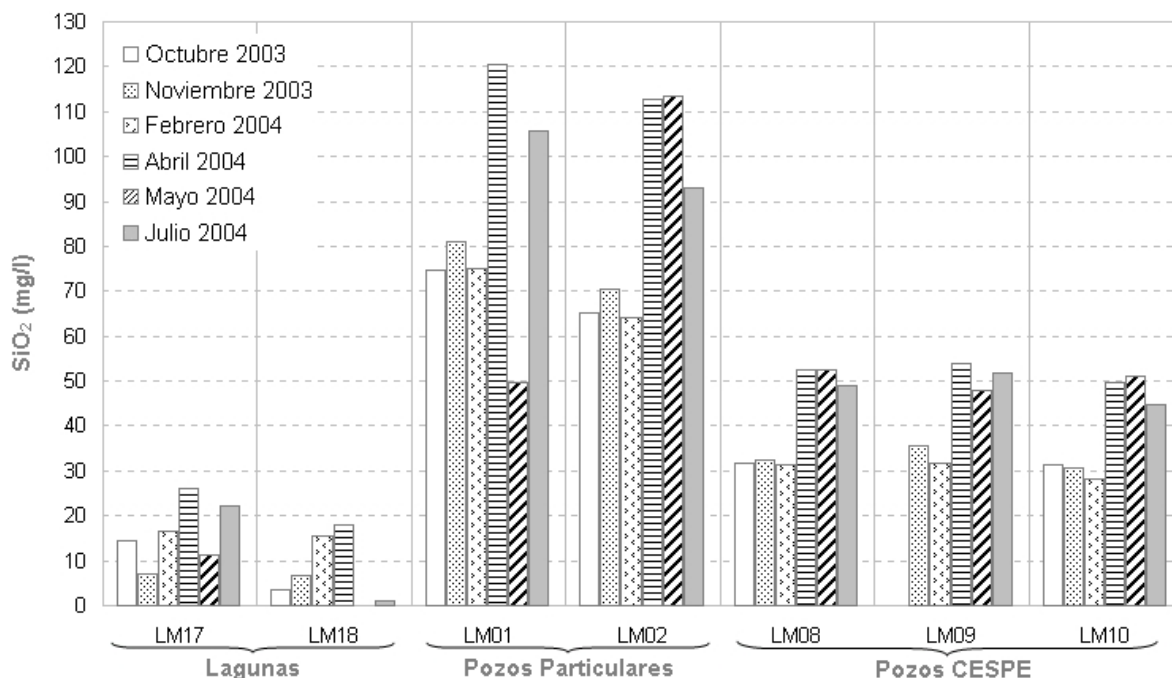


Figura 34. Concentraciones de SiO_2 en La Misión. Se muestran los sitios con los valores más altos (pozos particulares), los más pequeños (lagunas) y los más constantes (pozos CESPE). De izquierda a derecha, los sitios se alejan de la costa.

Las concentraciones más altas de SiO_2 se observaron en los pozos LM01 y LM02, con valores mayores a 49 mg/l en todos sus muestreos; mientras que las más pequeñas fueron registradas en las lagunas, encontrándose el rango más bajo de 0 a 25 en los sitios cercanos a la costa (LM17 y LM18) (Figura 34). Los sitios de CESPE presentaron los valores más constantes de contenido de SiO_2 al fluctuar entre 28 y 54 mg/l (Figura 34).

Las concentraciones de boro en el agua, aunque pequeñas, son importantes para la agricultura, ya que algunas plantas dependen de su presencia para crecer (Hitchon *et al.*, 1999). Como se aprecia en la Tabla VII, los contenidos promedio en aguas continentales son menores que en aguas marinas, aunque es posible encontrar valores altos en muchos tipos de aguas superficiales y subterráneas (Hem, 1985).

El promedio de contenido de B en el área de estudio fue de 2.9 mg/l, sin embargo, en algunas lagunas fueron registrados valores mayores a 7 mg/l (Figura 35). En la figura 35 también se muestran los registros menores de contenido de B, que corresponden a sitios de CESPE y los mayores encontrados en lagunas. Además, en la misma se puede observar que la concentración de este elemento alcanza sus valores más altos en los muestreos de mayo y julio de 2004.

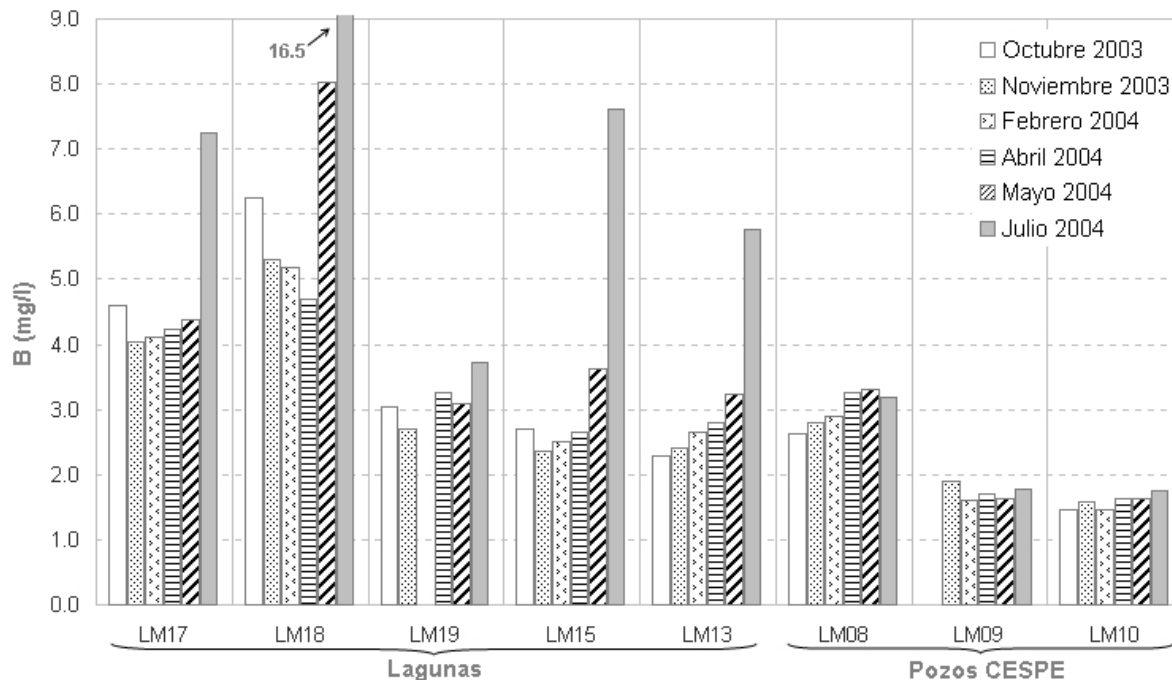


Figura 35. Concentraciones de B en La Misión. Se muestran los valores máximos (lagunas) y mínimos (CESPE). Nótese el aumento en la laguna LM18 en julio de 2004. De izquierda a derecha los sitios se alejan de la costa.

Uno de los elementos más abundantes en la corteza continental es el Hierro (Fe), mas su presencia en aguas naturales, que se encuentra fuertemente dominada por el pH (Hem, 1985), es muy escasa, aunque puede alcanzar valores de hasta 50 mg/l (WHO, 2004), y en aguas contaminadas hasta 8,000 unidades (Hitchon *et al.*, 1999).

El hierro en el agua es esencial para el metabolismo de animales y plantas, pero en exceso puede manchar metales y telas, por lo que representa una impureza indeseable a nivel doméstico e industrial (Hem, 1985). La forma más común en la que este elemento participa en la hidrogeoquímica es como Fe^{2+} , derivado del intemperismo de minerales ferromagnesianos (Hitchon *et al.*, 1999).

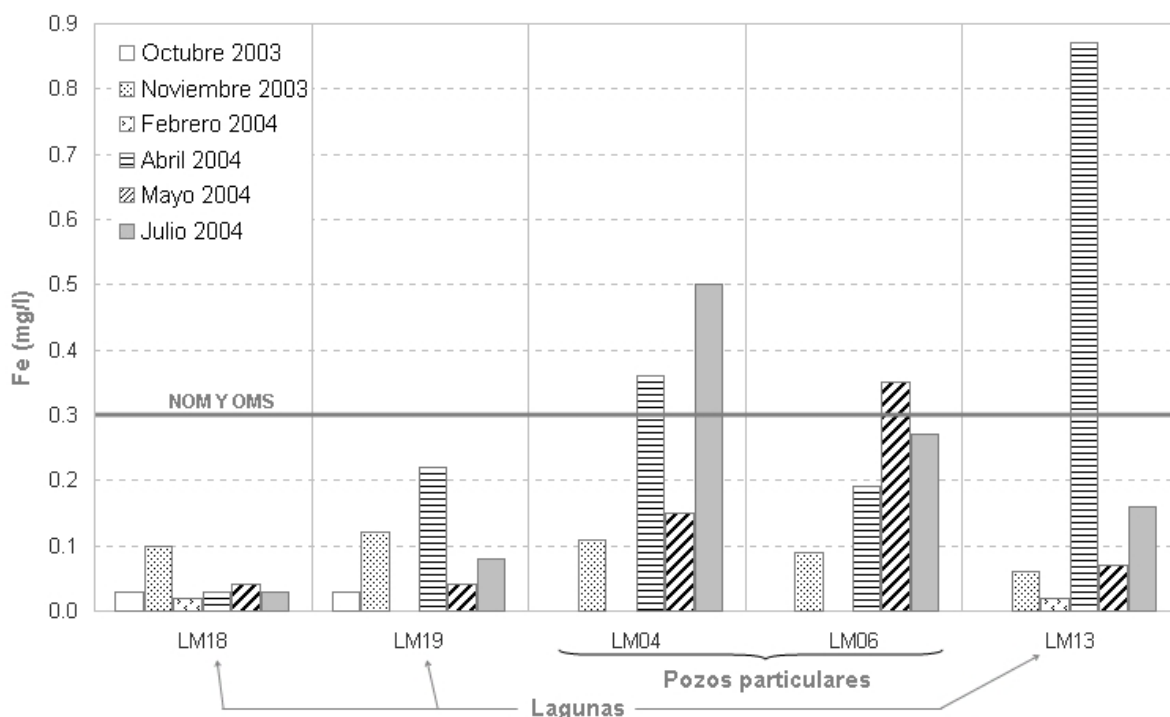


Figura 36. Comportamiento de la concentración de hierro (Fe) en Pozos Particulares y Lagunas. Se presentan las muestras con mayor contenido de Fe. Se muestra el máximo permitido en la NOM y por la OMS. Hacia la derecha los sitios se alejan de la costa.

El contenido de Fe en sitios del área se muestra en la figura 36 de forma resumida, destacando que sólo 5 muestras presentaron valores mayores a 0.1 mg/l, de las que solamente 3 rebasaron el máximo permitido por la NOM de 0.3 mg/l (LM04, LM06 y LM13). Asimismo, la mayor parte de los sitios presentaron valores menores a 0.05 mg/l, como los sitios de CESPE en que sólo la muestra de mayo en LM09 rebasó ese valor.

El manganeso (Mn) comparte las mismas características hidrogeoquímicas que el Fe, excepto que no es tan abundante y el Mn se conserva en solución por más tiempo (Hem, 1985). El rango de concentración del Mn es pequeño y se encuentra entre 0.002 y 10 mg/l (Hitchon *et al.*, 1999), aunque la NOM y la OMS establecen un máximo permisible de concentración de Mn de 0.15 y 0.40 mg/l, respectivamente.

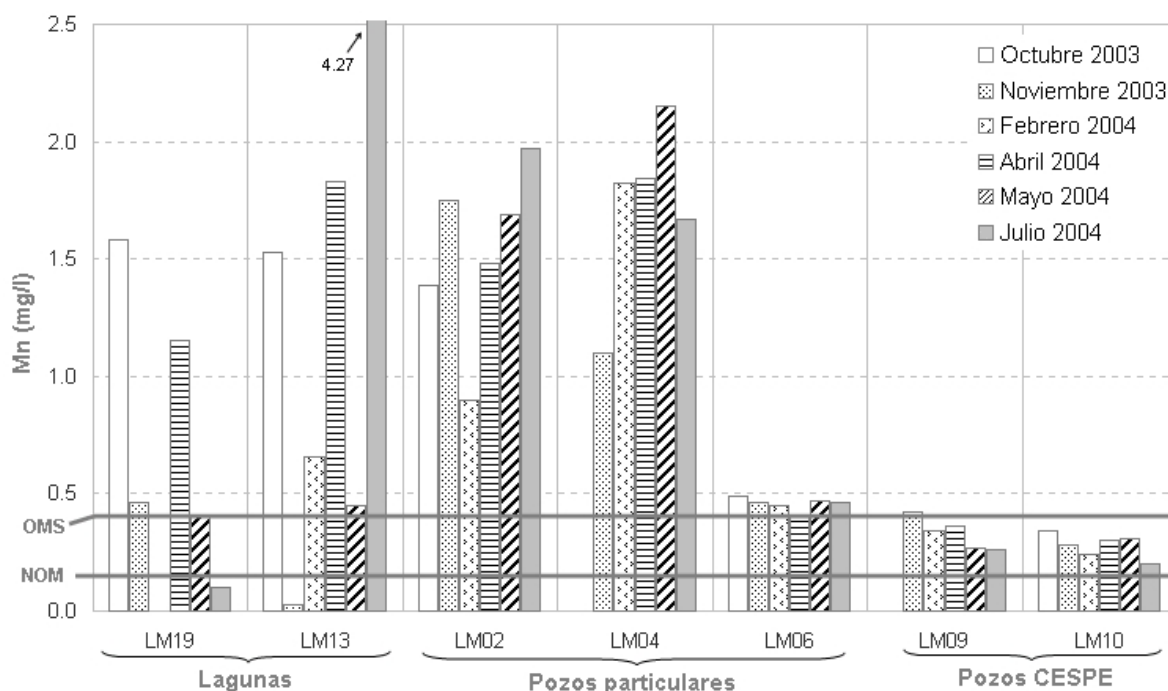


Figura 37. Comportamiento de la concentración de manganeso (Mn) en Lagunas, Pozos Particulares y de CESPE. Obsérvense los altos valores de LM13, LM02 y LM04 que rebasan significativamente el límite máximo de la OMS. De izquierda a derecha en cada tipo de sitio, las muestras se alejan de la costa.

El contenido de Mn del acuífero de La Misión en muy pocos casos se mantuvo por debajo de los 0.15 mg/l exigidos por la NOM. Las concentraciones mayores se presentaron en los pozos LM02, LM04 y LM06, así como en los sitios LM13 y LM19, con valores que sobrepasaron el máximo de 0.40 mg/l establecido por la OMS, y en ocasiones rebasaron los 0.80 mg/l, alcanzando máximos de 2.15 (LM04) y 4.27 (LM13) (Figura 37).

El último elemento mayor secundario es el fósforo (P), el cual forma en el agua compuestos inorgánicos de baja solubilidad y es utilizado como nutriente por la flora y fauna en general (Hem, 1985). Las regulaciones de agua potable de la NOM y la OMS no exigen una concentración máxima de este elemento, ya que sólo consideran al compuesto principal de P: el ion fosfato (PO_4^{2-}). No obstante, son mostrados en la tabla VII los promedios de concentración de P total en agua continental (0.02 mg/l) y marina (0.09 mg/l), mientras que

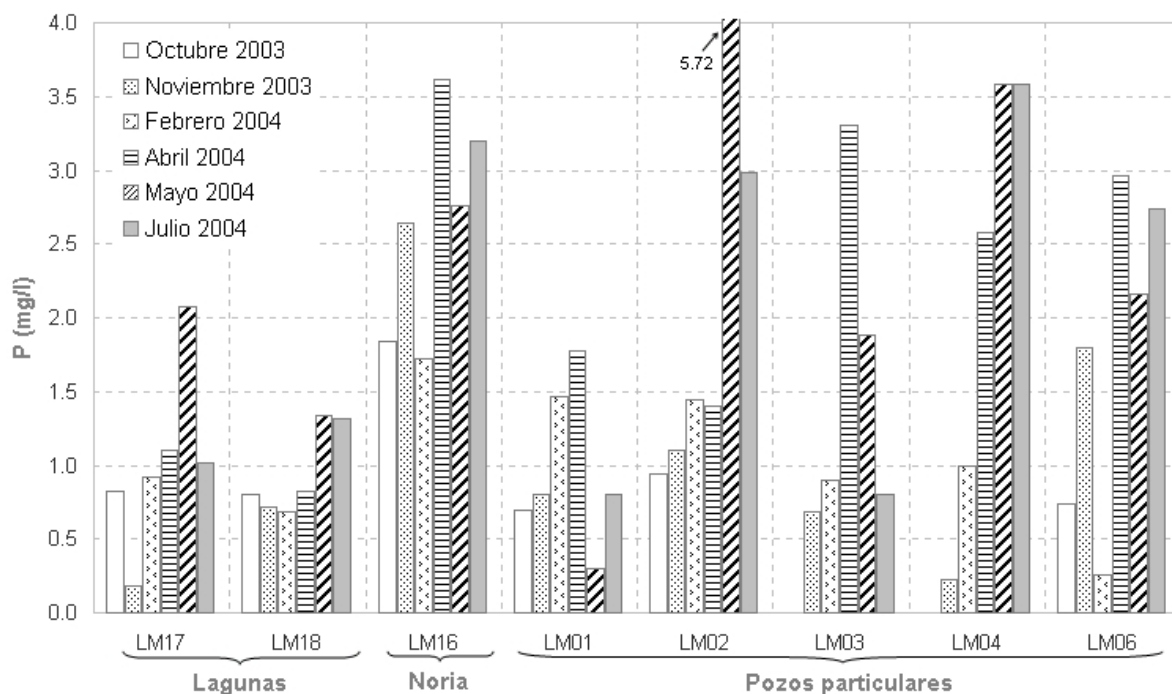


Figura 38. Comportamiento de la concentración de P en Pozos Particulares, Lagunas y Noria LM16. El pozo LM02 presentó el valor más alto. De izquierda a derecha los sitios se alejan de la costa.

Hitchon y colaboradores (1999) establecen un máximo en agua subterránea de 10 mg/l.

Los valores de P total rebasaron el promedio de concentración de agua continental y marina en la mayoría de los sitios muestreados y las concentraciones más altas se presentaron en los pozos particulares y la noria LM16 (Figura 38). En esta figura se observa que de entre las lagunas, los valores más elevados se dieron en las lagunas LM17 y LM18. Por otro lado, los valores más pequeños del trabajo se presentaron en los pozos de CESPE, con un rango entre 0.02 y 0.92 mg/l.

VII.2.3. Elementos Traza

Los elementos traza analizados incluyen a los metales térreos alcalinos como el estroncio (Sr) y el bario (Ba), los metálicos cobre (Cu) y zinc (Zn), el metal de transición molibdeno (Mo) y el metal alcalino litio (Li). Los datos completos son presentados en el Anexo II.

La tabla VIII muestra los valores promedio de estos elementos en agua continental y marina, así como los máximos permitidos por la S.S.A. (2000) y la WHO (2004). Con base en esta tabla, todas las muestras de este trabajo presentaron concentraciones de elementos traza dentro del rango de composición de aguas continentales y marinas. Por tanto, ninguno de ellos sobrepasó los límites máximos establecidos para el agua potable por la NOM y la Organización Mundial de la Salud. Por otra parte, a excepción del Sr y el Cu, los elementos traza mostraron valores que en general permanecieron constantes a lo largo del período de muestreo, por lo que en este apartado son presentados solamente las muestras con cambios de concentración significativos.

Tabla VIII. Concentración de elementos traza en diferentes tipos de agua; unidades en mg/l. Datos de Langmuir (1997), Hem (1985), S.S.A. (2000) y WHO (2004). s.d. = sin dato.

<i>Componente</i>	<i>Aguas continentales</i>	<i>Agua marina</i>	<i>NOM</i>	<i>OMS</i>
Sr	0.4	8	s.d.	s.d.
Ba	0.02	0.02	0.70	0.70
Cu	0.003	0.003	2	2
Zn	0.02	0.01	5	3
Mo	0.0015	0.01	s.d.	0.07
Li	0.003	0.17	s.d.	s.d.

De esta forma el Sr, que tiene un comportamiento muy parecido al del Ca^{2+} y cuya concentración en sistemas acuosos es muy pequeña (Hem, 1985) y depende de la solubilidad de la estroncionita o la celestita (Hitchon *et al.*, 1999), se presentó en un rango que va desde 0.2 mg/l en LM10 hasta 2.8 mg/l en LM18. El sitio con el promedio más alto de contenido de Sr fue el pozo LM03 al presentar una gran diferencia de valores con respecto al resto de los sitios muestreados (Figura 39). En esta figura se puede observar que la concentración de Sr en lagunas mostró un aumento en el muestreo de julio de 2004 en relación a los meses anteriores.

El Cu es un elemento indispensable para el metabolismo de plantas y animales (Hem, 1985), y es considerado no recomendable en concentraciones mayores a 2 mg/l en agua potable (S.S.A, 2000 y WHO, 2004), valor que no fue alcanzado en ninguno de los muestreos, presentando un máximo de 0.03 mg/l.

Por otro lado, de los elementos traza también analizados, pero que se presentaron ocasionalmente en los sitios muestreados y que fueron señalados en la tabla VI del apartado

6.2, destaca el vanadio (V), elemento asociado con el uranio en algunos depósitos minerales (Hem, 1985), y que fue encontrado constantemente en las muestras tomadas de los pozos LM01 y LM02 y de la noria LM16 en un rango entre 0.02 y 0.06 mg/l.

El aluminio, que algunos autores lo consideran como elemento mayor (Hem, 1985; Hitchon *et al.*, 1999), no fue un elemento común en las muestras colectadas, registrándose sólo en dos muestras de lagunas y dos norias, con valores entre 0.2 y 0.3 mg/l. Otros elementos mostrados en la tabla VI y reportados en el anexo II no son significativos.

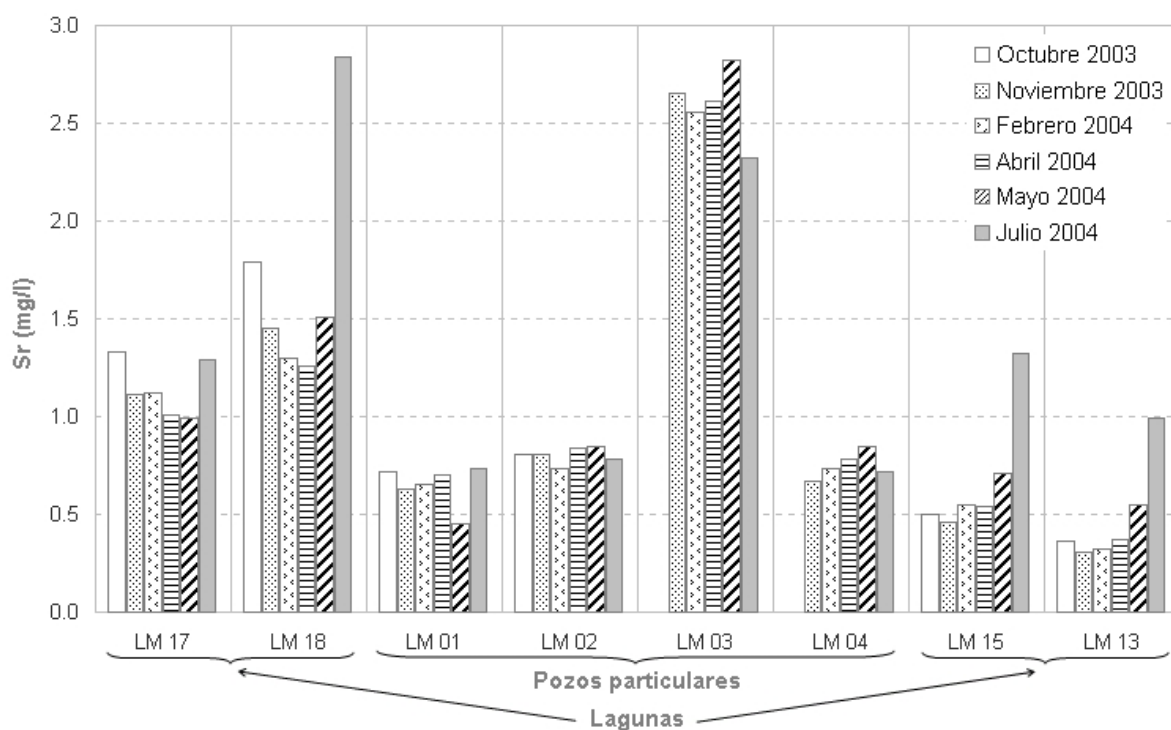


Figura 39. Concentración de Sr en Pozos Particulares y Lagunas. El pozo LM03 presentó consistentemente los valores más altos. Las lagunas LM18, LM15 y LM13 mostraron un aumento de concentración de Sr en julio de 2004.

VIII. RELACIÓN DE RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

En este capítulo se relacionan los datos hidroggeoquímicos obtenidos utilizando diagramas de Stiff y Piper, así como gráficas de pares iónicos y otras combinaciones de variables para realizar la interpretación de resultados.

VIII.1. DIAGRAMAS DE STIFF

Los diagramas de Stiff muestran los resultados de los análisis en patrones basados en sus concentraciones dadas en miliequivalentes por litro con el fin de comparar e identificar rápidamente similitudes químicas entre muestras. Los iones que se grafican en estos diagramas son los cationes Na y K en conjunto, el Ca y el Mg, y los aniones Cl, HCO_3 y SO_4 , representados en las figuras 40, 41 y 42 por círculos que forman los vértices de los patrones del diagrama.

De esta manera, la figura 40 muestra la primera serie de diagramas de Stiff correspondientes a pozos de CESPE y norias distribuidas en el área. En ella se observa que las concentraciones en los pozos de CESPE se comportan de manera muy similar, con los valores más pequeños del muestreo y proporciones de aniones y cationes relativamente constantes. Asimismo, el contenido de iones se mantiene constante con el tiempo, pero al alejarse de la línea de costa se puede notar una disminución de Na+K y Cl.

Las norias mostraron características diferentes a los pozos de CESPE aumentando su contenido de Na+K y Cl y disminuyendo su contenido de Ca con respecto al HCO_3 , a excepción de la noria LM07, que presentó en sus dos muestreos proporciones de Na+K, Ca,

Cl y HCO_3 muy parecidos entre sí y muy diferentes a las composiciones obtenidas en este trabajo, lo que es un posible indicador que el agua en la noria se alimenta de otra fuente, no obstante fue imposible registrar su composición en los siguientes meses (Figura 40).

En los pozos particulares las muestras LM03 y LM06 mostraron diferencias en los contenidos de Cl y Na+K (Figura 41). El pozo LM03 registró más Cl en todos los análisis que el resto de muestras de su tipo, mientras que en el pozo LM06 el Na+K fue mayor con respecto al Cl (Figura 41). En esta figura también se observa que el pozo LM01 muestra mayor contenido de Cl cuando el resto de estos sitios mantiene sus patrones “simétricos”. Cabe señalar que el mayor contenido de Cl en LM01 y LM03 puede estar siendo provocado por intrusión de agua de menor calidad.

Las lagunas fueron los sitios que presentaron mayor concentración de iones al estar expuestas a la evaporación. Las más cercanas a la costa (LM17 y LM18) presentaron proporciones de iones mucho mayores que el resto, lo que se debe seguramente a la intrusión salina. Es visible también que la laguna LM18 siempre mostró mayor deterioro que la LM17, a pesar de estar más alejada de la costa. Una posible explicación a este fenómeno es que la laguna LM18 está sometida a menos intrusión de agua dulce proveniente del acuífero y a mayores tasas de evaporación. Es preciso señalar que estas dos lagunas se encuentran superficialmente desconectadas entre sí (Figura 42).

Las muestras tomadas de lagunas presentaron en julio un aumento más claro en el contenido de iones que las muestras de los demás sitios, hecho que podría ser provocado por los efectos de evaporación (Figura 42).

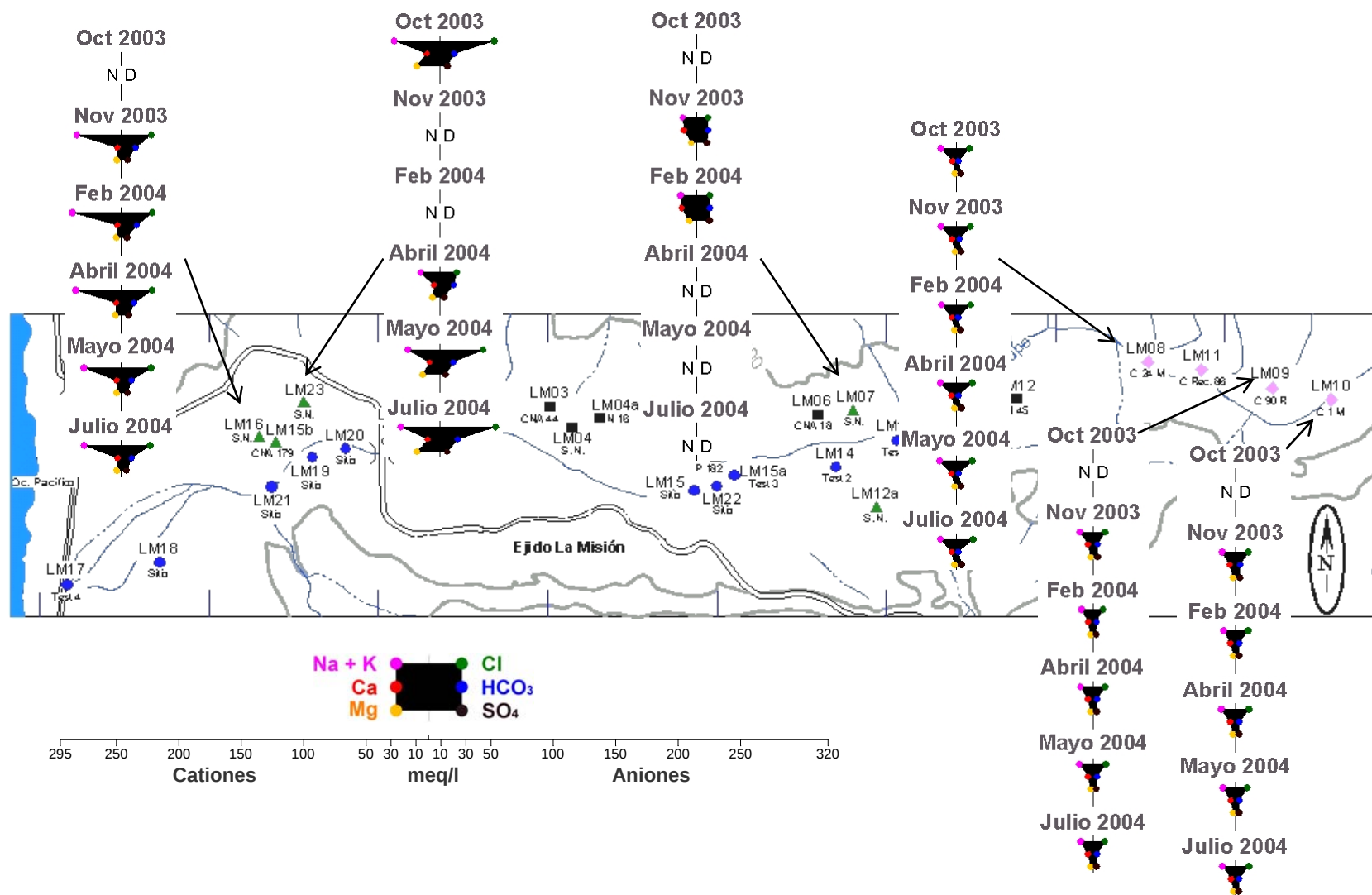


Figura 40. Diagramas de Stiff de Pozos de CESPE y Norias en La Misión. Nótese que las norias tienen concentraciones más altas que los pozos de CESPE, los cuales se ubican al lado derecho del gráfico.

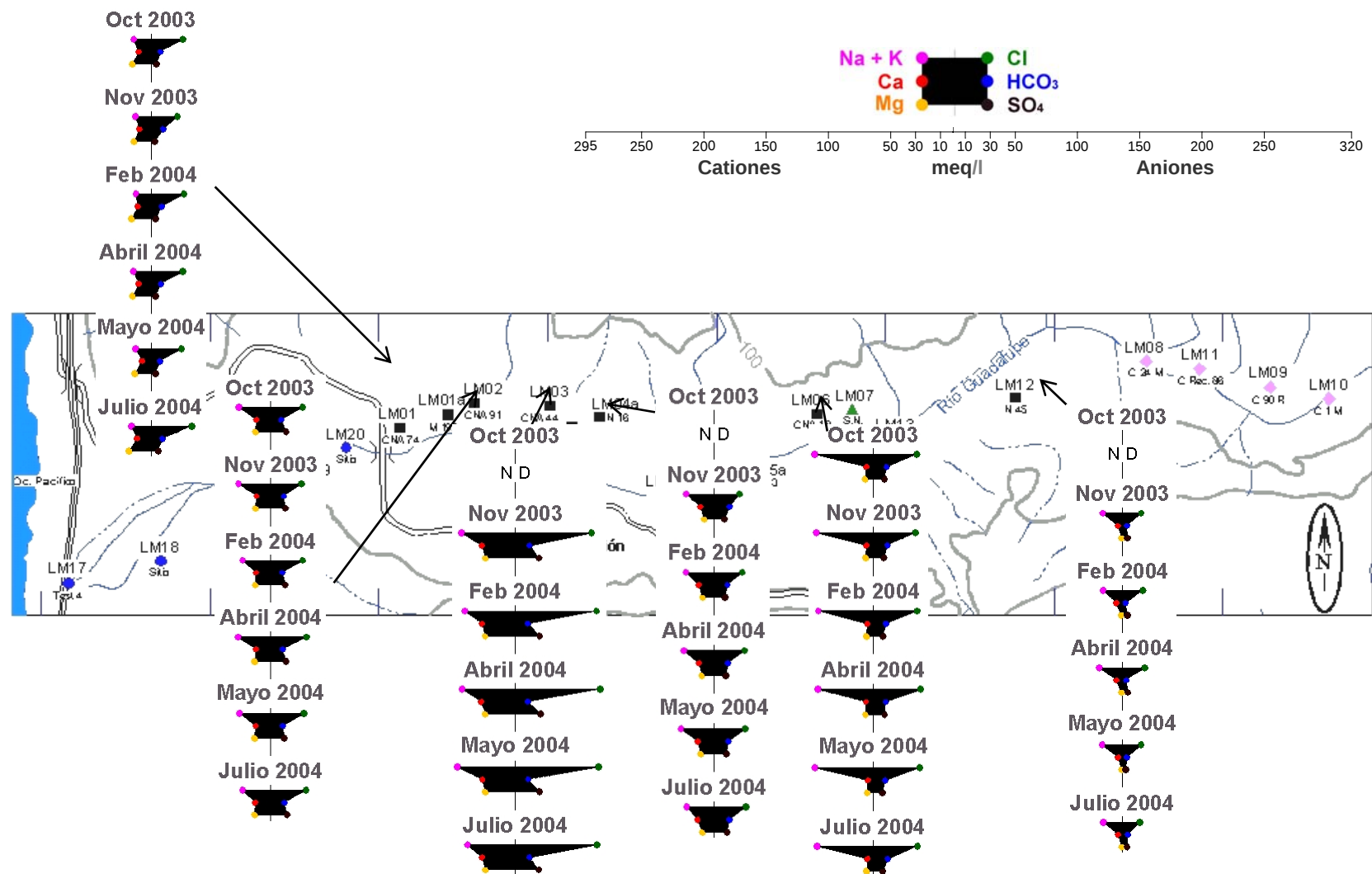


Figura 41. Diagramas de Stiff de Pozos Particulares en La Misión. Nótese el mayor contenido de Cl en el pozo LM03 y la predominancia de Na + K en LM06.

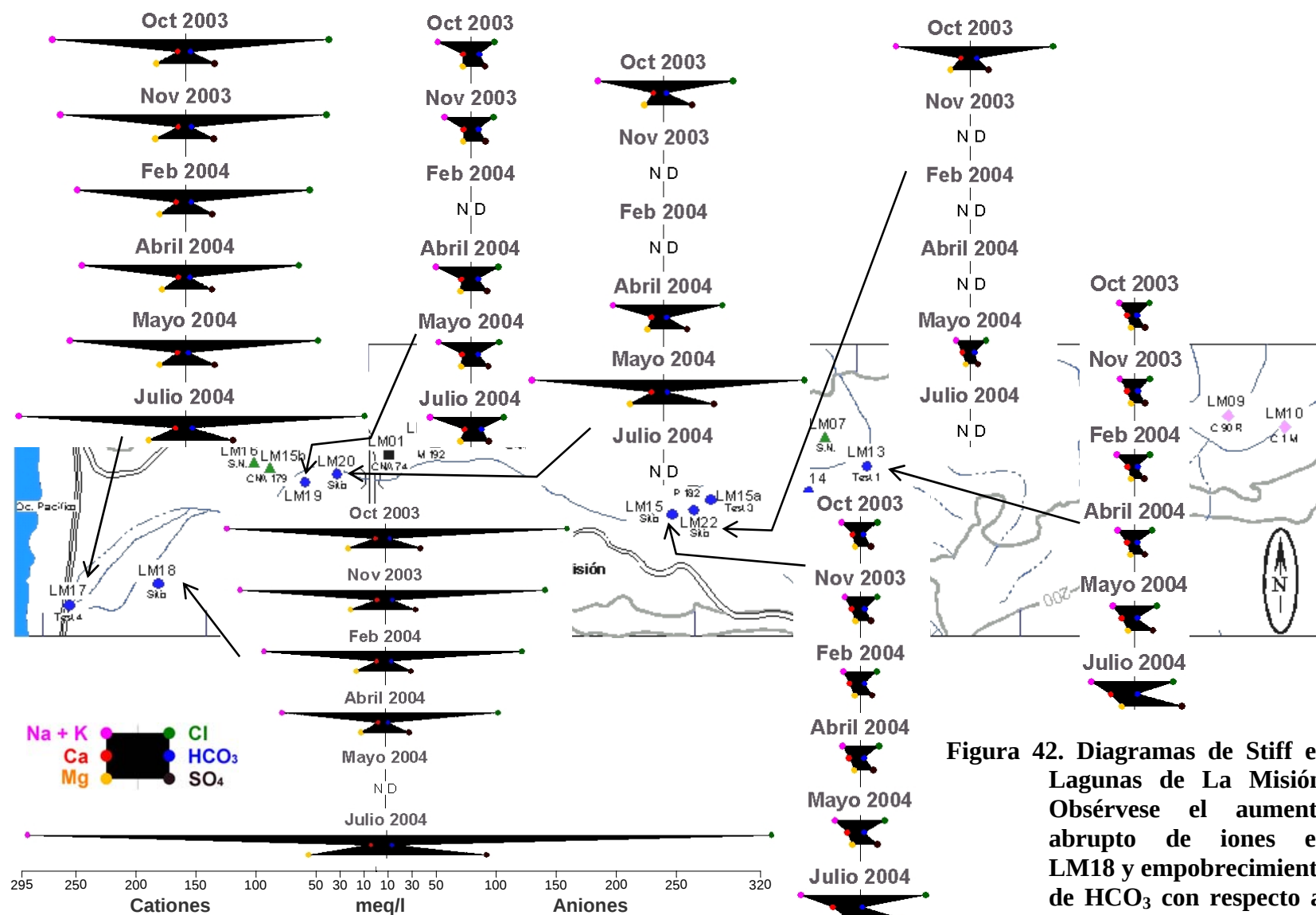


Figura 42. Diagramas de Stiff en Lagunas de La Misión. Obsérvese el aumento abrupto de iones en LM18 y empobrecimiento de HCO₃ con respecto al Ca en LM13 y LM15.

VIII.2. DIAGRAMAS DE PIPER

El diagrama de Piper (Güler, 2002) se utiliza para presentar los componentes químicos mayores y también para la clasificación de agua (Figura 43). Este diagrama se basa en el porcentaje del contenido en miliequivalentes por litro de los componentes mayores de los diagramas de Stiff. Se representan en los vértices de los triángulos inferiores para después extrapolarlos al diamante superior en donde se muestran las

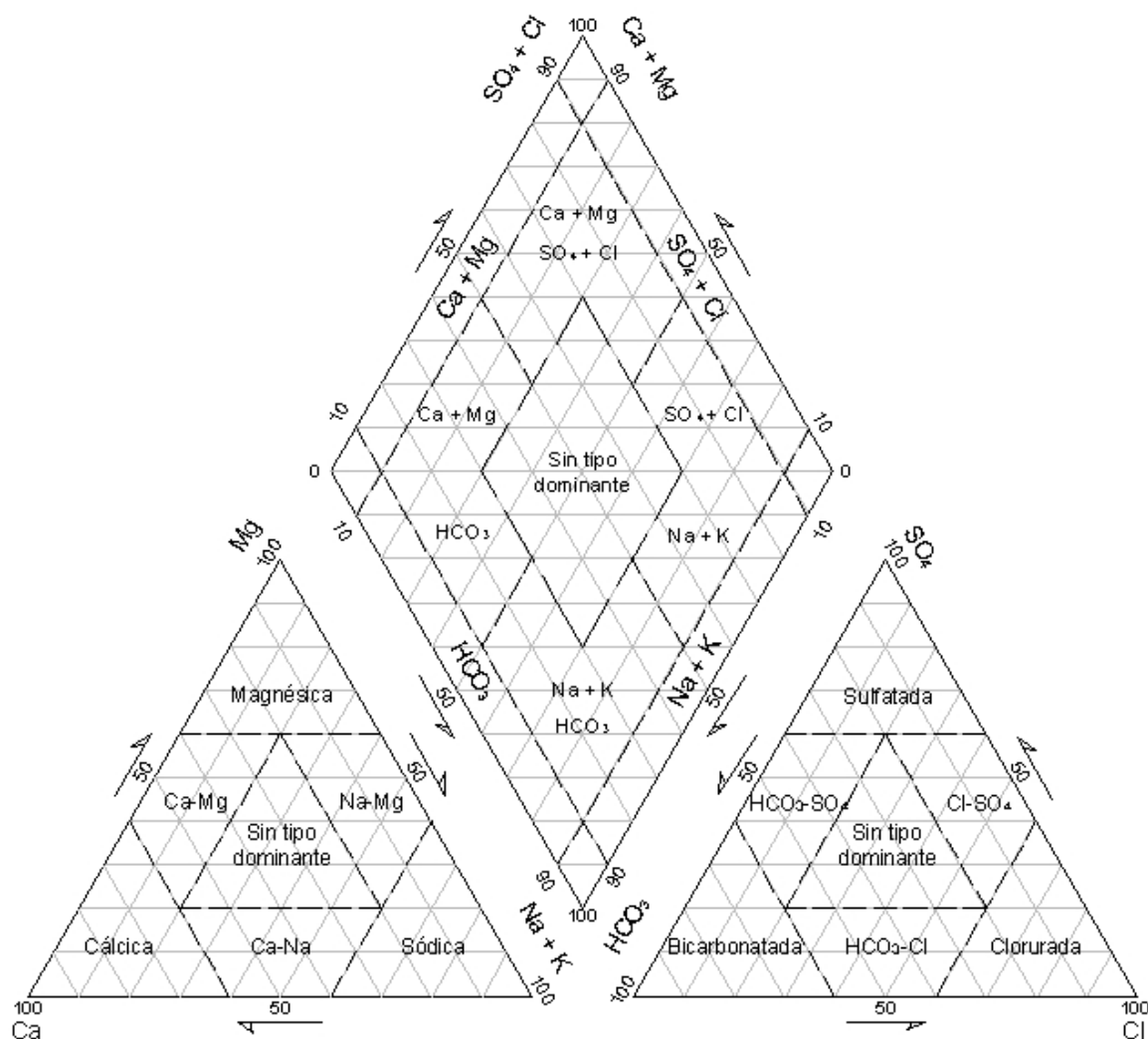


Figura 43. Diagrama de Piper y clasificación de aguas (modificado de Erdélyi y Gálfi, 1988; y Fetter, 2001).

combinaciones de estos iones. La figura 43 muestra la clasificación de aguas que fue utilizada en este trabajo, misma que fue basada en las clasificaciones mostradas en Erdélyi y Gálfi (1988) y Fetter (2001).

La posición del agua marina y dulce es graficada en forma de elipse en el diagrama de Piper que se muestra en la figura 44. En esta gráfica, en el diamante superior se indica el comportamiento de las aguas con intrusión salina, las cuales tendrían un enriquecimiento de

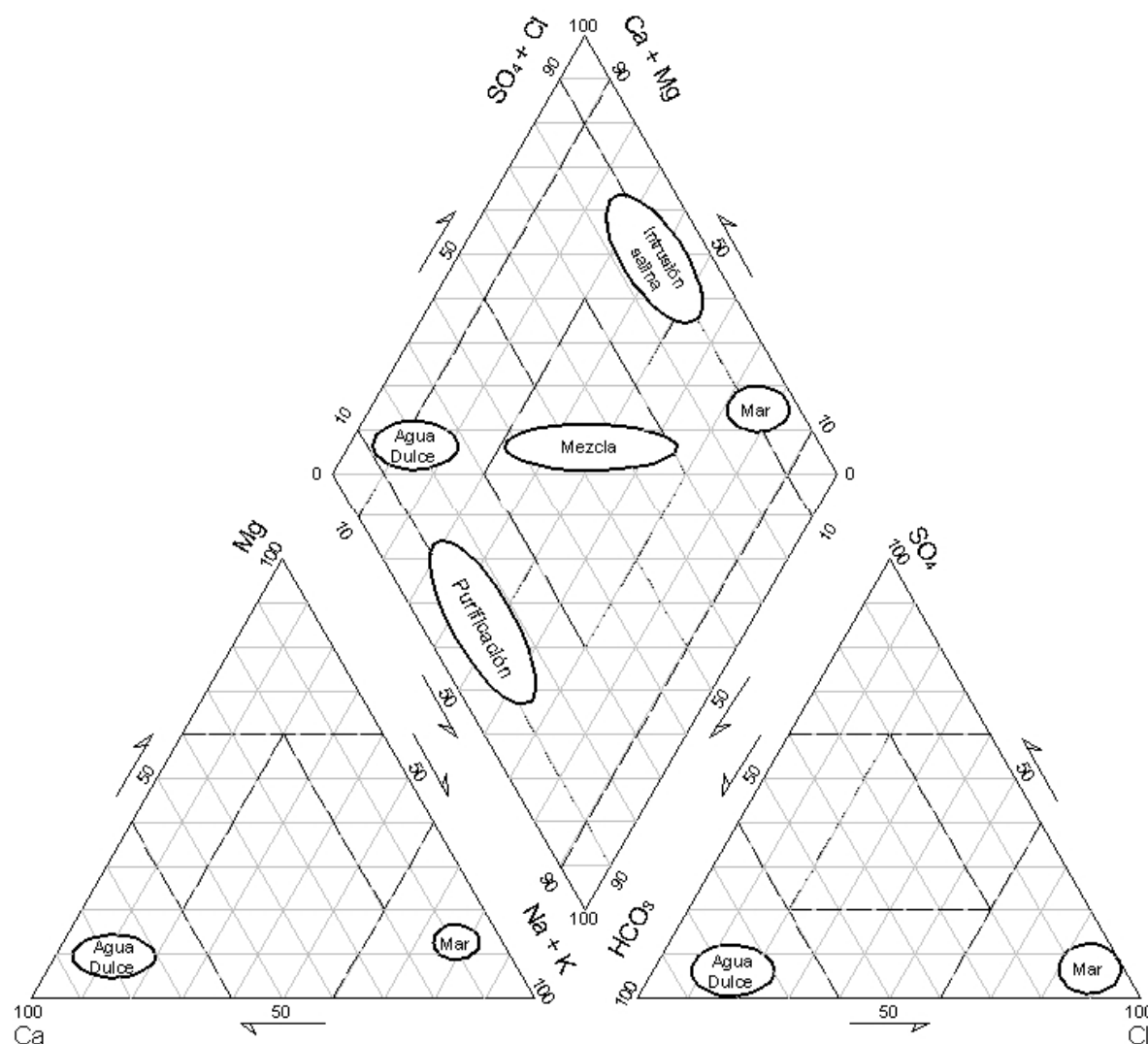


Figura 44. Diagrama de Piper que muestra la posición de los promedios de composición de agua marina y dulce, y las tendencias que presentan las aguas con intrusión de agua salina y dulce (modificado de Appelo y Postma, 1993).

Ca. También se ilustra la conducta correspondiente a las aguas con intrusión de agua dulce al aumentar sus concentraciones de Na+K debido a la interacción agua-roca (Appelo y Postma, 1993).

Las muestras que se localizan en las áreas de cationes o aniones sin tipo dominante, serán nombradas en esta tesis de acuerdo con la nomenclatura catión o anión mezclado de Kehew (2001). Por tanto, con base en estas categorías de agua, los pozos y norias

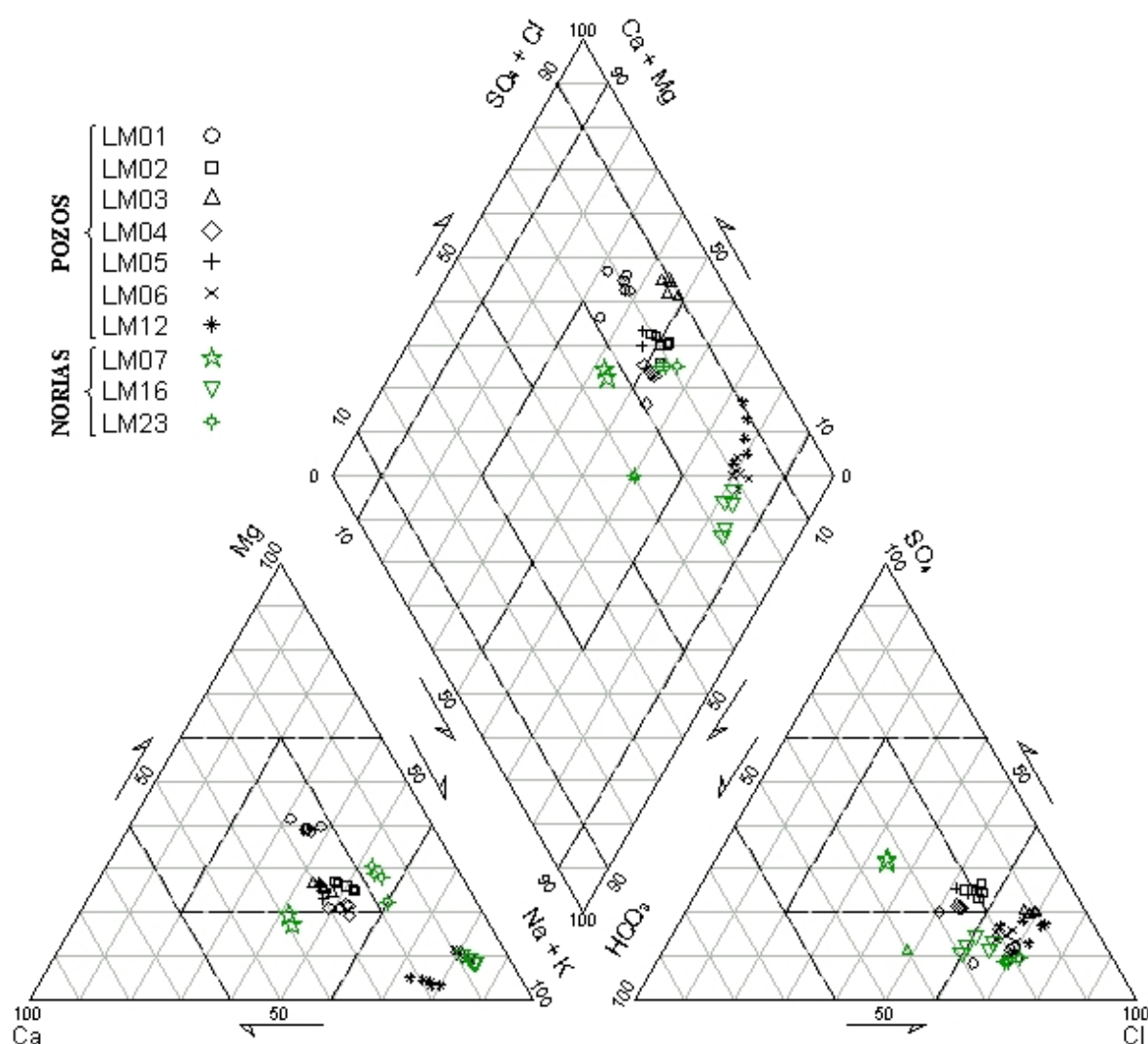


Figura 45. Diagrama de Piper de Pozos y Norias muestreados en La Misión. Obsérvese que la mayoría de las muestras tuvieron carácter clorurado y casi todos los pozos presentaron catión mezclado.

particulares muestreados presentaron rasgos de agua con intrusión salina, al mostrar una proporción de iones principalmente clorurados y catión mezclado (Figura 45). Asimismo, las muestras de los pozos LM06 y LM12 y de la noria LM16 fueron clasificadas como Cl-Na, mientras que la muestra de la noria LM12 se clasificó como Cl-Na-Mg.

Es obvio también que las norias presentan mayor proporción de bicarbonato que las muestras colectadas en pozos, mismos que tienden a presentar mayor contenido de SO_4 que

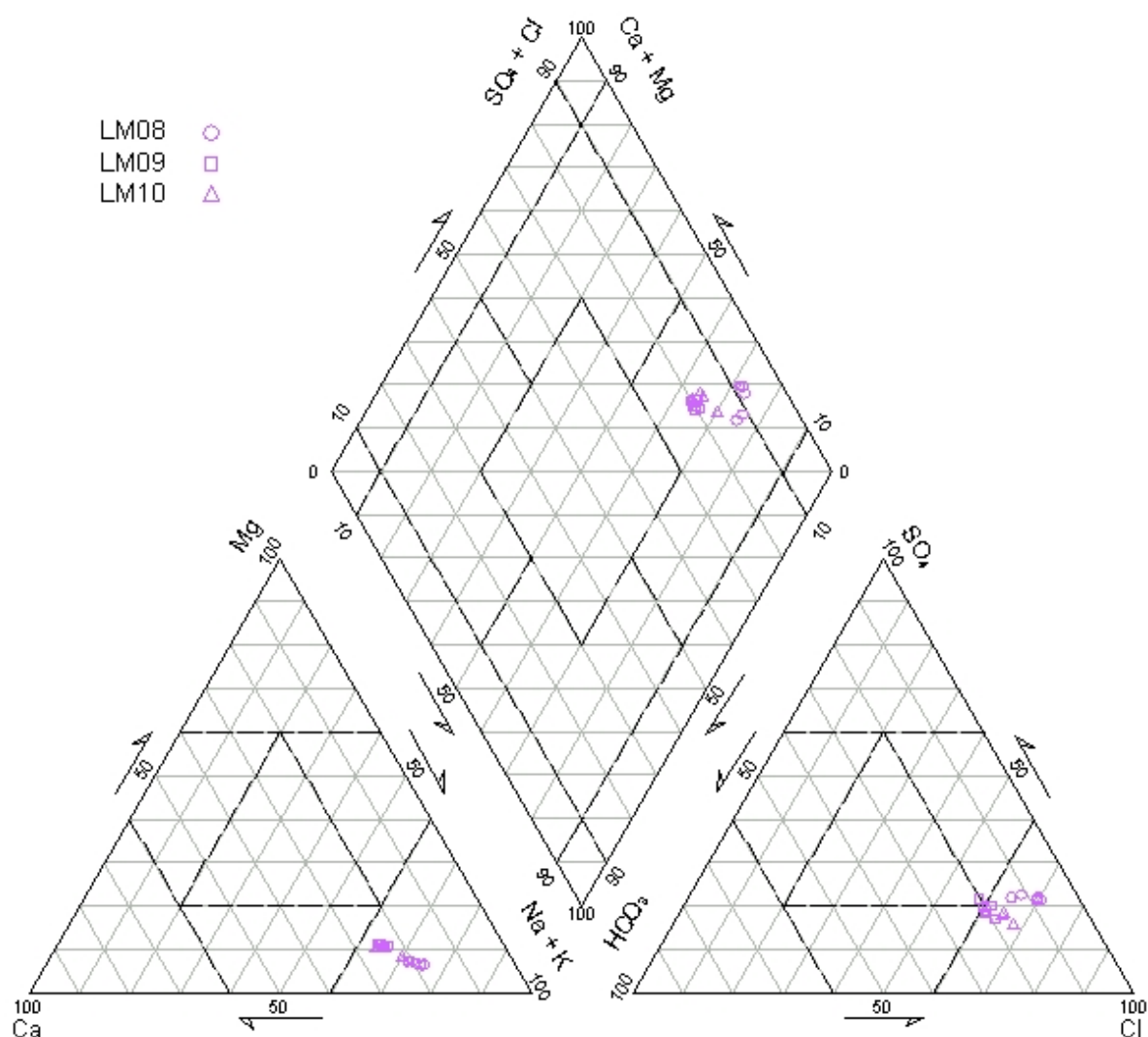


Figura 46. Diagrama de Piper de pozos de CESPE muestreados en La Misión. Se observa que tienen composición similar al agua de mar pero se interpretan como pozos alimentados con agua con más tiempo de residencia en el acuífero.

las norias (Figura 45). De la misma manera, a excepción de los pozos LM06 y LM12, ningún pozo presenta predominancia de algún catión.

Para el caso de los sitios de CESPE, todas las muestras corresponden a aguas Cl-Na, y aunque las muestras colectadas en estos pozos siempre presentaron la mejor calidad en comparación al resto de sitios muestreados, proporcionalmente muestran relaciones entre iones parecidas al agua de mar, pero es más probable que el agua extraída por estos pozos

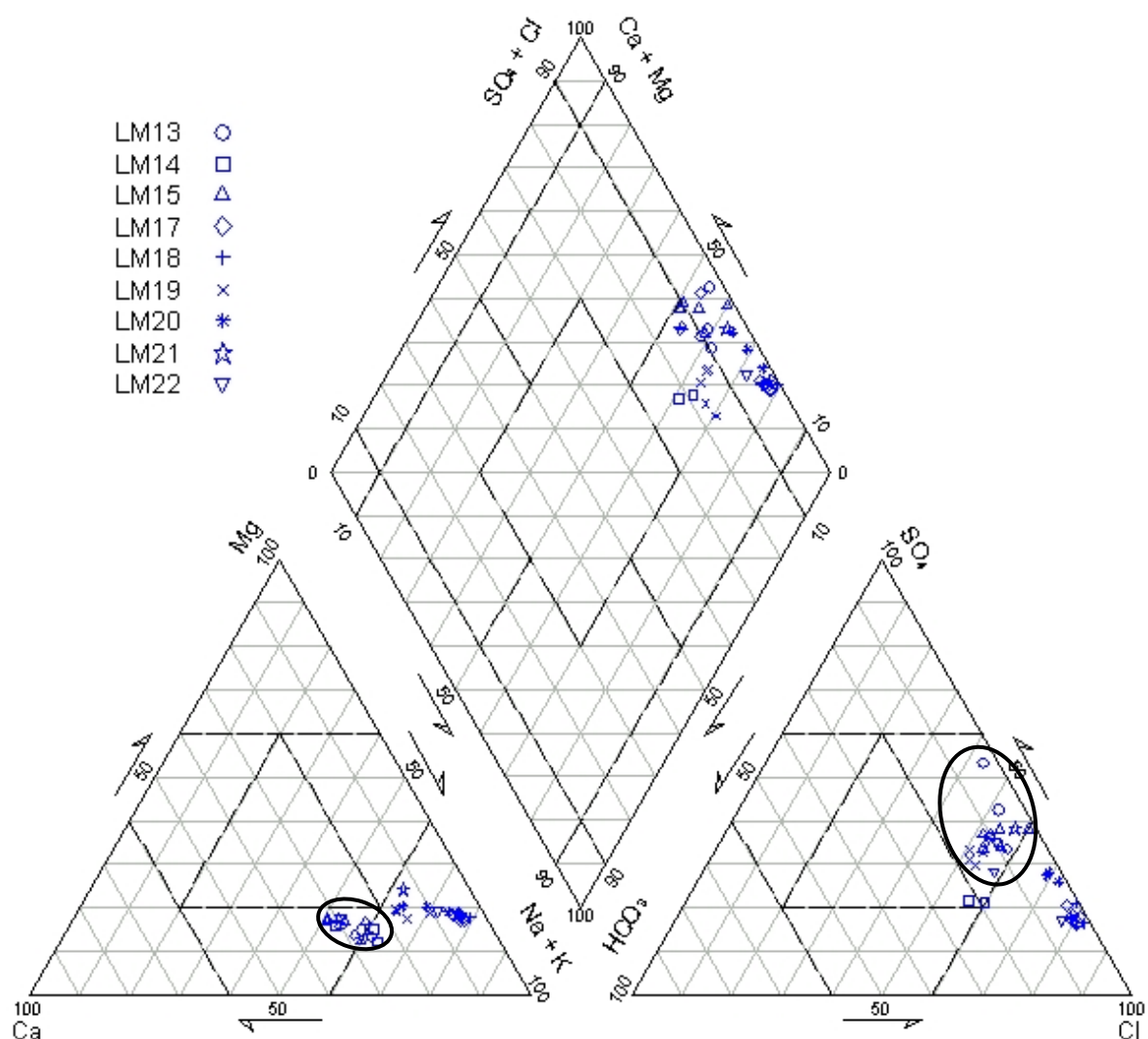


Figura 47. Diagrama de Piper de Lagunas muestreadas en La Misión. Las elipses marcan las muestras con enriquecimiento de SO_4 y Ca en LM13, LM15 y LM22. Las lagunas LM19 y LM21 mostraron solamente más SO_4 .

sea más antigua o tenga mayor tiempo de residencia en el acuífero (Figura 46).

Las lagunas no presentaron gran diferencia a las demás muestras, pero es posible notar que contienen mayor proporción de sulfato y en algunos casos más calcio, lo que podría indicar intrusión salina. Las muestras enriquecidas en sulfato y calcio son la LM13, LM15 y LM22 y se clasificaron como $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca-Na}$ (Figura 47). Otras muestras, como la LM19 y la LM21 también están enriquecidas en SO_4 mas no en Ca, por lo que se clasifican como aguas $\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$. En general las muestras tomadas de lagunas presentaron características de agua con intrusión de agua salina (Figura 47).

Las proporciones de todos los muestreos agrupados por mes se presentan en la figura 48, en la que se observa que de octubre de 2003 a noviembre del mismo año los contenidos de Cl disminuyen y los de SO_4 aumentan, mientras que por los cationes el Ca observa un aumento en su concentración.

Asimismo, en los meses de febrero y abril de 2004, las proporciones se mantienen con gran similitud a las de noviembre de 2003, hasta llegar a mayo de 2004, en donde la concentración de sulfatos vuelve a aumentar en algunas muestras. Finalmente, durante julio de 2004, el contenido de sulfato alcanza sus máximos y el de bicarbonato sus valores más pequeños en muestras de lagunas, confirmando así los efectos de la evaporación sobre el acuífero a lo largo del tiempo de muestreo.

Con base en los porcentajes de contenido de iones tabulados en el anexo V y considerando como relevantes los aniones y cationes con presencia relativa mayor al 20% (Kretzschmar, 1995), más del 67% de las muestras colectadas en pozos y norias fueron catalogadas como Na-Mg-Ca-anión mezclado, Na-Cl, Na-Cl- HCO_3 y Na-Mg-Ca-Cl- SO_4 . De la misma forma, un poco más de la mitad de las muestras de pozos de CESPE se

clasificaron principalmente como Na-Ca-Cl y Na-Ca-Cl-SO₄, mientras que el 86% de las muestras de lagunas correspondieron a aguas Na-Ca-Cl-SO₄, Na-Cl y Na-Cl-SO₄.

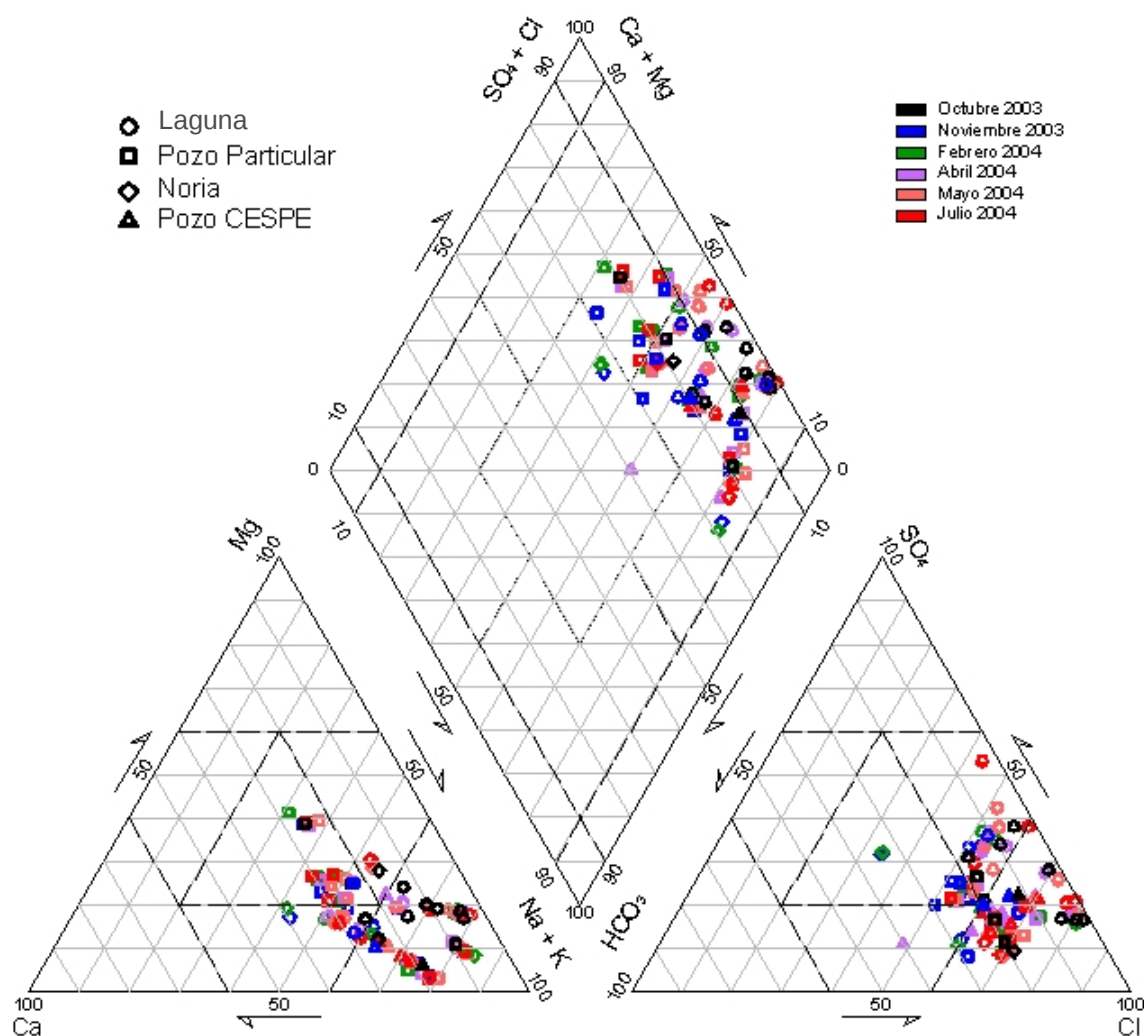


Figura 48. Diagrama de Piper de sitios muestreados clasificados por mes de colecta indicado por colores. Hacia julio de 2004 se observa un aumento de SO₄ y una disminución de HCO₃ en la mayoría de las muestras.

VIII.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y SUS RELACIONES

Se relacionó el contenido de SDT con el cambio de nivel piezométrico relativo en pozos y norias con el objetivo de definir las áreas en donde la evaporación tiene mayor influencia considerando que la evaporación representa la remoción de moléculas de agua y el consecuente aumento de concentración de solutos (Appelo y Postma, 1993).

La extracción de agua de un pozo o noria en un acuífero sin la influencia de agua de menor calidad provoca que el nivel de agua disminuya y los niveles de SDT se mantengan constantes, lo que se señala con la flecha horizontal en la figura 49a. Sin embargo, si del acuífero se extrae agua y éste es alimentado de forma horizontal (por agua de menor calidad o intrusión salina) o verticalmente (por agua más antigua) el nivel freático tenderá a permanecer sin cambio pero sufrirá un aumento de concentración de SDT, escenario representado por la flecha vertical en la figura 49a.

En cambio, si el acuífero está directamente expuesto a la evaporación, el nivel de agua disminuirá y la concentración de sales aumentará mostrando el comportamiento presentado por la flecha con línea discontinua en la figura 49a, en donde también el acuífero puede tener influencia de otra agua de menor calidad a través de la extracción.

Con base en esto, se observa que la concentración de SDT tiende a aumentar sin modificar significativamente la altura relativa del nivel de agua en los sitios LM03 y LM23, lo que refleja la predominancia del deterioro hidrogeoquímico por evaporación sobre el provocado sólo por la extracción (Figura 49b). Por otro lado, en los pozos LM04 y LM12 y las norias LM12a y LM16 el aumento de altura relativa de agua no modificó el contenido

de sólidos disueltos totales, lo que implica que esas áreas del acuífero se encuentran más protegidas de la evapotranspiración que el resto de los sitios (Figura 49b).

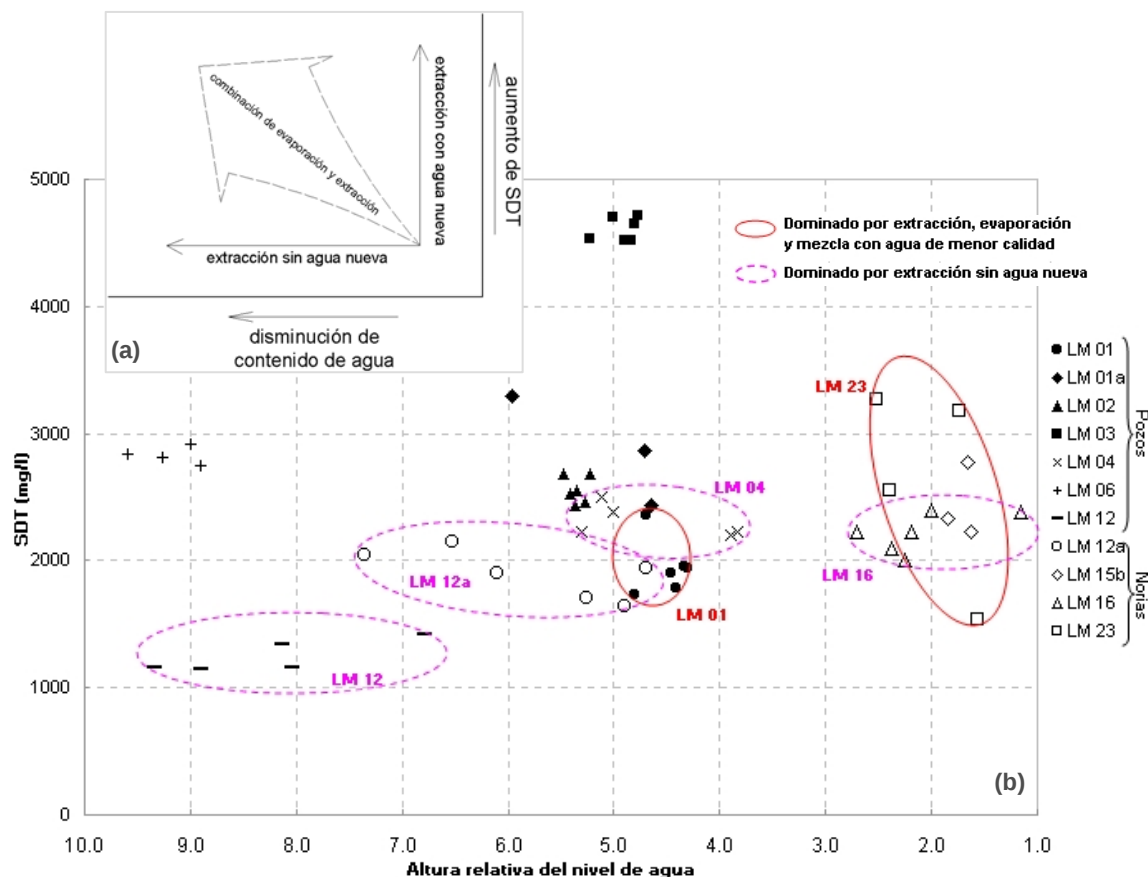


Figura 49. Comportamiento de los SDT en relación a los cambios de elevación relativa de los niveles de agua en pozos y norias. Nótese que el pozo LM12 y la noria LM12a presentaron menores cambios de SDT. El eje mayor de las elipses representa la línea de tendencia de los datos.

El pH en las lagunas LM15, LM17 y LM18 presentó cambios drásticos durante los meses de noviembre de 2003 hasta mayo de 2004 (Figura 22). Una forma de explicar este comportamiento en el sitio LM18 es considerando que durante los meses de marzo y abril se observó que la cantidad de vegetación acuática que habita la laguna aumentó significativamente después de la lluvia de febrero, por lo que el consumo de CO_2 por la vegetación provocó el aumento del pH (Langmuir, 1997).

En general, las muestras analizadas mostraron un aumento de concentración de iones en julio de 2004 lo que se debe principalmente al incremento de la evaporación en la época más seca del año.

Los valores elevados de NO_3^- registrados en el sitio LM16 (Figura 30) pueden ser explicados por la presencia de un corral avícola y la abundancia de otros animales de granja alrededor de esa noria. El máximo de concentración durante abril en LM16 coincide con la lluvia de finales de febrero que pudo causar la lixiviación de NO_3^- (Hem, 1985).

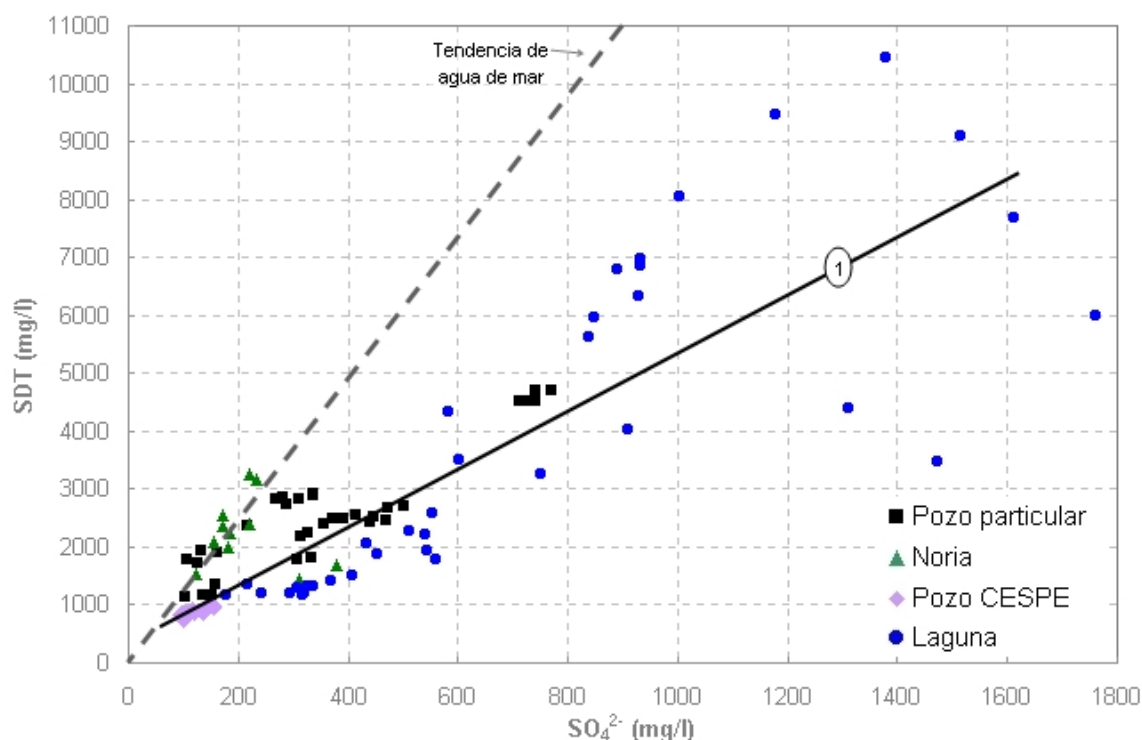


Figura 50. Concentración de SO_4^{2-} en relación al contenido de SDT. La línea continua (1) marca la tendencia de las muestras y la discontinua la tendencia del agua de mar al ser diluida con agua destilada. Obsérvese que la tendencia 1 es diferente a la del agua de mar lo que implica una influencia ajena al agua marina.

La relación entre el SO_4^{2-} y la concentración de SDT presentó dos tendencias: una (1) que corresponde a las muestras con altos contenidos de este ion producto de la

influencia del agua de mar y otra que se asemeja mucho a la tendencia del agua marina diluida con agua de mejor calidad. Los sitios en la tendencia dos corresponden a LM01, LM12, LM14 y LM16 (Figura 50).

El Ca^{2+} tuvo un comportamiento similar al SO_4^{2-} , presentando dos tendencias, de las cuales la segunda tiene una pendiente parecida a la de agua marina pero su cruce con los ejes no es en el origen lo que indica una posible fuente alterna de abastecimiento de agua en los sitios LM06, LM12, LM14 y LM16; sin embargo, la primera tendencia sugiere una influencia mayor de la interacción agua-roca en la composición de la muestra mas es necesario un estudio con mayor detalle para determinar su origen (Figura 51).

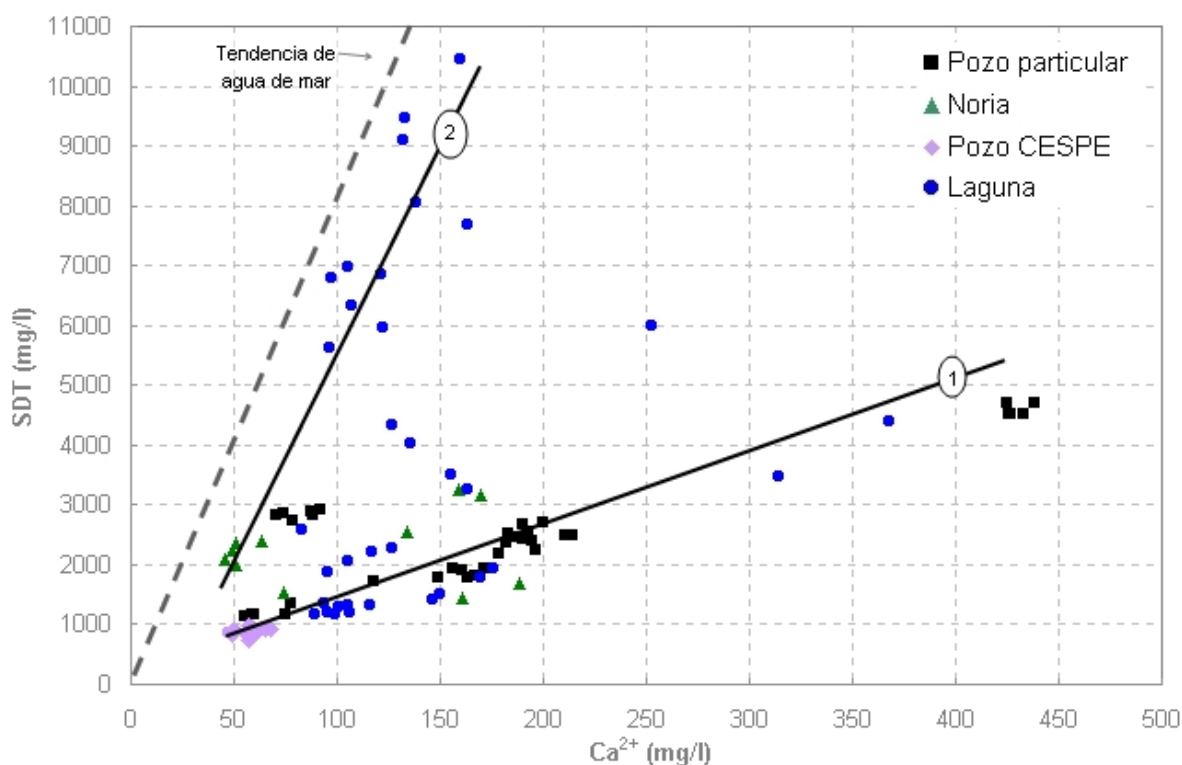


Figura 51. Comportamiento del contenido de Ca^{2+} en relación a los SDT en las muestras de La Misión. La línea discontinua representa al agua marina. Nótese que las muestras de la tendencia 1 tienen mucho mayor contenido de Ca que el agua marina y la 2 no cruza el origen.

Otro componente que mostró anomalías fue el SiO_2 , el cual fue muy pequeño en las lagunas debido a que dicho componente es extraído de solución por algunos organismos acuáticos (Hem, 1985).

Finalmente, el pozo LM03 presentó constantemente los valores más altos de Sr lo cual puede ser atribuido a la influencia de una fuente de agua distinta a la de las demás muestras y a su relación con el contenido de Ca^{2+} que en ese pozo también fue mayor.

VIII.4. PARES IÓNICOS Y OTRAS RELACIONES

En este apartado se muestran las relaciones entre los iones mayores y su relación con otros elementos menores para comparar los resultados obtenidos en esta tesis con otros tipos de agua. En donde fue posible se graficó el promedio de la composición química del agua marina, reportado por Drever (1998) y la recta de proporción 1:1 con la finalidad de compararla con los resultados de la tesis.

Appelo y Postma (1993) y Langmuir (1997) citan el trabajo de Gibbs, en el que explica de manera sencilla los factores que controlan la química de las aguas superficiales, de acuerdo con esto, la composición de las aguas superficiales está determinada por la lluvia, las reacciones en el intemperismo de las rocas y la evaporación y cristalización, o una combinación de estas.

La figura 52a muestra lo anterior al graficar los SDT contra la proporción de $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$. En ella se observa que el agua de lluvia se grafica al lado derecho de la figura al igual que el agua marina, en las que el Ca se presenta normalmente cuando hay interacción con la roca, sin embargo, estas aguas se diferencian entre sí por el contenido de SDT, por lo que el agua de los océanos se localiza en la parte superior (Appelo y Postma, 1993). El intemperismo de la roca provoca un aumento de SDT y de Ca y las aguas se ubican en la parte media de la figura 52a. Si el agua es sometida a evaporación como ocurre

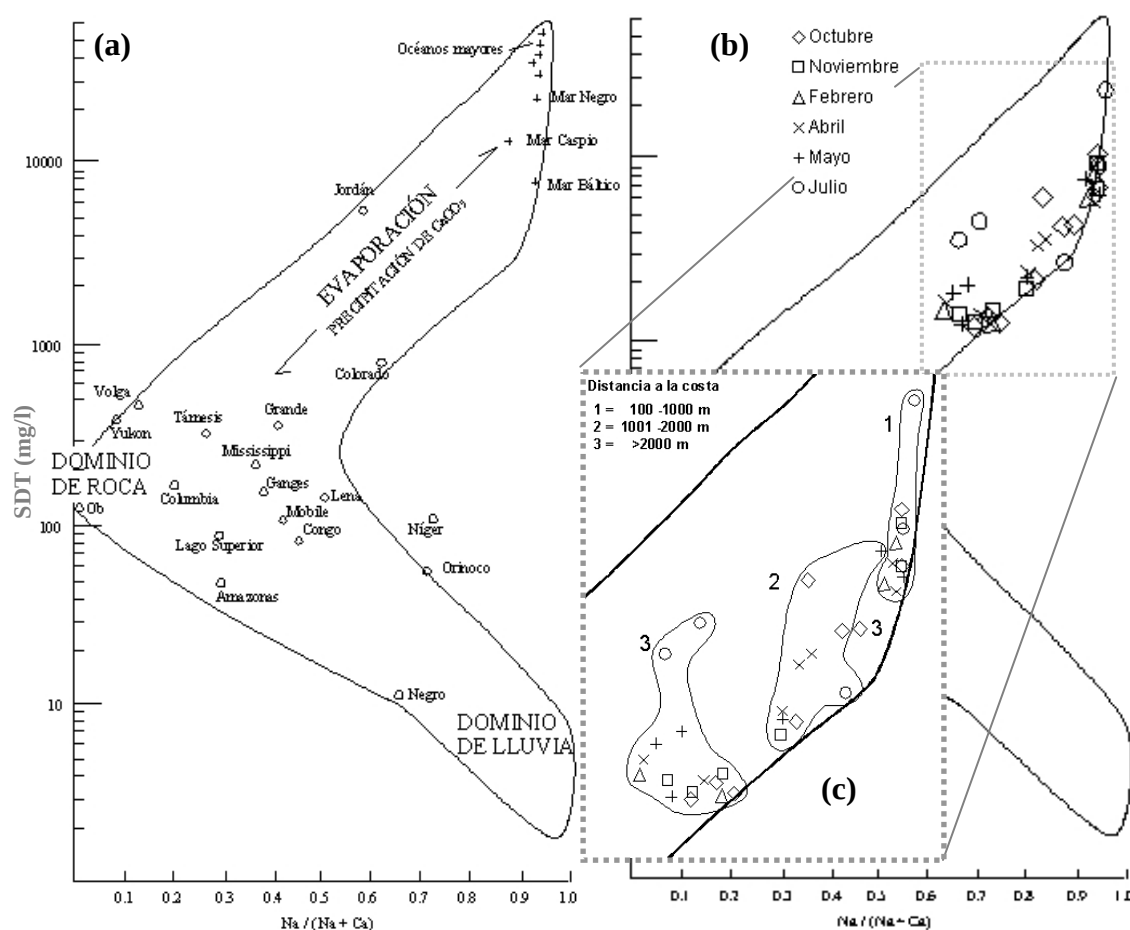


Figura 52. Relación entre SDT y proporción de $\text{Na}/\text{Na}+\text{Ca}$. (a) Se grafican las correspondientes a algunos ríos y océanos del mundo (modificado de Langmuir, 1997) y (b) a las muestras de lagunas en La Misión agrupadas por mes de muestreo. En (c) se aprecian detalladamente las muestras y se observa una relación con la distancia a la costa.

en los climas áridos, la composición se enriquece en SDT y Na y pierde Ca por la precipitación de CaCO_3 , causando un avance de las muestras hacia arriba y a la derecha del mismo gráfico (Langmuir, 1997).

La mayoría de las muestras de lagunas pertenece al dominio de la evaporación (Figura 52b). Las lagunas graficadas con respecto al tiempo no presentaron variaciones significativas pero una relación con la distancia a la costa se manifestó en la figura 52c, en donde se observa que las muestras con distancias mayores a 2000 m presentan mayor influencia de los efectos de la evaporación.

Otra relación utilizada para detectar la influencia del agua marina en acuíferos es el cociente Na/Cl (Steinich *et al.*, 1998). Al promedio de composición de agua de mar le corresponde un valor de 858 (Drever, 1998). Esta relación en los sitios muestreados en La

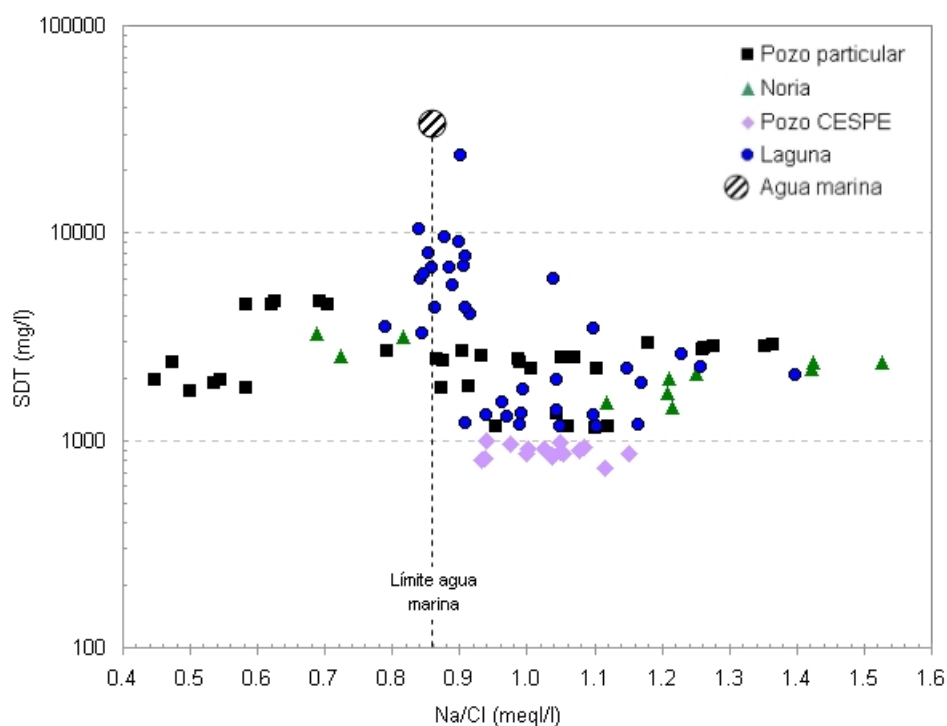


Figura 53. Relación entre SDT y proporción de Na/Cl. Se muestra el promedio en agua marina (Drever, 1998). Obsérvese la similitud con el agua de mar en las proporciones de Na y Cl mas no en el contenido de SDT.

Misión y el promedio en agua marina se grafica en la figura 53 donde se observa de nuevo la similitud de las lagunas LM17 y LM18 con el agua marina durante mayo y julio de 2004. La mayoría de las muestras presentaron proporciones de sodio mayores a la del agua marina y las muestras de pozos de CESPE tendieron a alejarse de la relación Na/Cl del agua de mar.

Cuando existe intrusión salina es común que ocurra un intercambio iónico entre el Ca presente en los sedimentos o rocas del acuífero y el Na del agua marina (Appelo y Postma, 1993), provocando entonces un aumento general de Ca en el agua. De esta forma es posible apreciar que la presencia de estas sales se mantiene en una

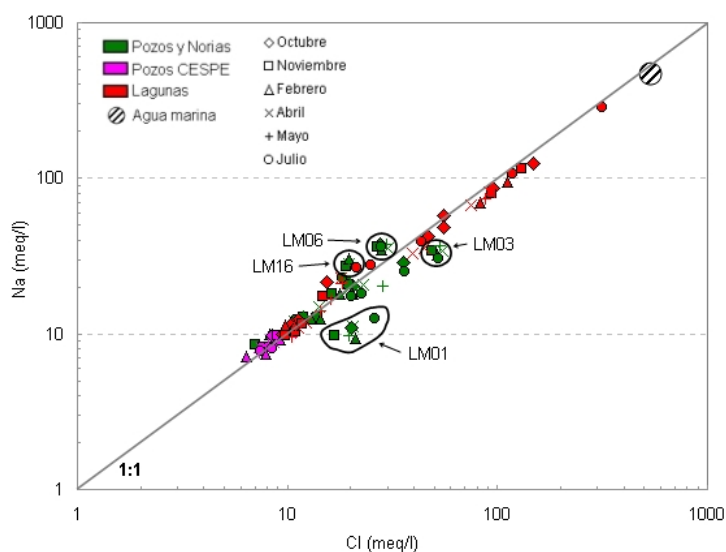


Figura 54. Relación entre el contenido de Cl y Na en muestras de La Misión. Se marca la proporción 1:1 y se observa que las muestras LM01 y LM03 tienen más Cl que Na al contrario de LM06 y LM16.

proporción constante en todas las muestras (Figura 54), lo que indica que se derivan de la misma fuente (Kim *et al.*, 2003). No obstante, el pozo LM01 se desfasa de la recta 1:1 al tener menor contenido de Na en relación al Cl y al resto de las muestras. Asimismo, aunque los sitios LM03, LM06 y LM16 no presentaron en esta relación variaciones tan marcadas como la LM01, también son señalados.

Con base solamente en la aserción de Appelo y Postma (1993) con respecto al intercambio iónico, se puede afirmar que los sitios LM06 y LM16 no tienen influencia de

agua de mar, mientras que los pozos LM01 y LM03 mostraron mayor influencia de intrusión salina. Una de las posibles causas de la disminución de Na en las muestras LM01 y LM03 es que exista intercambio iónico de Na con Ca o Mg, de los cuales, el Ca es preferido sobre el Mg en las aguas naturales (Appelo y Postma, 1993).

Con base en esto fue graficada la relación entre la suma del contenido de los principales elementos metálicos alcalinos (Na+K) y los alcalinos térreos (Ca+Mg) (Figura 55). Se observa que los pozos LM01 y LM03 presentaron predominancia de Ca+Mg, hecho que apoya la posibilidad

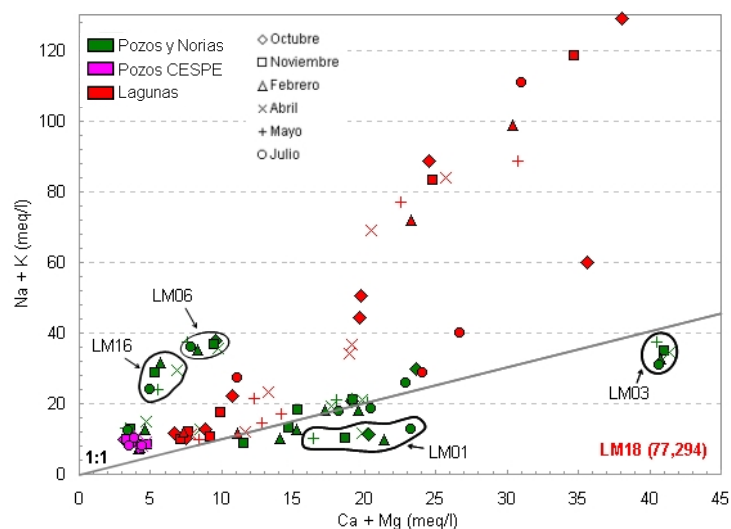


Figura 55. Relación entre el contenido de Ca+Mg y Na+K. Se observa un marcado aumento de Ca+Mg en LM01 y LM03 y de Na+K en LM06 y LM16. El muestreo de LM18 en julio no fue graficado para conservar una escala apropiada.

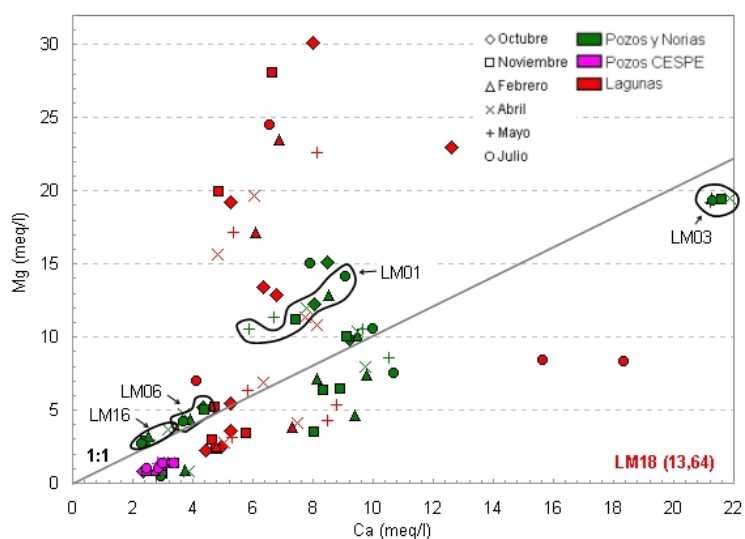


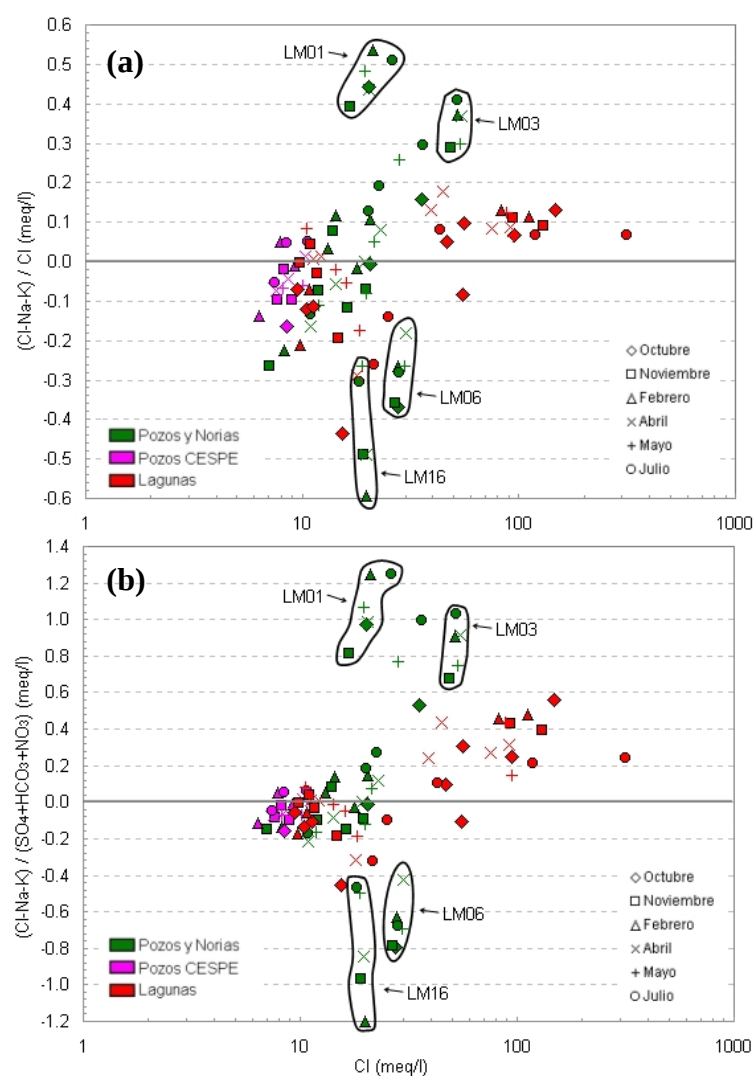
Figura 56. Relación entre el contenido de Ca y Mg en muestras de La Misión. Se observa que LM03 presentó mayor contenido de Ca que LM01.

de que el Na está siendo reemplazado por alguno de estos iones. Además se aprecia que las lagunas y las muestras LM06 y LM16 tienden a ser agua de mar diluida (Figura 55).

La relación entre Ca y Mg muestra un enriquecimiento de Mg en el pozo LM01, lo que sugiere un reemplazo de Na por Mg en ese sitio, y un intercambio de Na por Ca en el pozo LM03 (Figura 56).

Otro argumento para sugerir que en estos sitios existe intercambio iónico, se obtiene al calcular y graficar los índices de intercambio de base (I_{IB}) de Schoeller (1959), que consisten en las siguientes relaciones:

$$(a) \quad I_{IB} = \frac{Cl - (Na + K)}{Cl} \quad y \quad (b) \quad I_{IB} = \frac{Cl - (Na + K)}{(SO_4 + HCO_3 + NO_3)}, \quad (5)$$



las cuales indican que cuando el I_{IB} es positivo, existe un intercambio entre el Na y el K del agua con el Ca y el Mg del sedimento o roca del acuífero, mientras que cuando se presentan valores negativos, el intercambio iónico es en

Figura 57. Índice de intercambio de bases para las muestras de La Misión. Se observa que las muestras LM01 y LM03 presentaron enriquecimiento de Ca y Mg y LM06 y LM16 se enriquecieron en Na y K. Los incisos corresponden al índice en el texto (Schoeller, 1959).

sentido inverso, es decir, el agua recibe iones de Na y K del sedimento o roca que contiene al acuífero (Schoeller, 1959).

De esta forma las muestras LM01 y LM03 reciben un aporte de Ca y Mg de los sedimentos y rocas del acuífero, mismos que son intercambiados por el Na y el K del agua, mientras que en las muestras LM06 y LM16 ocurre lo contrario (Figura 57). Cabe señalar que las muestras tomadas de las lagunas LM17 y LM18 también presentaron valores positivos y tanto a la laguna LM19 como al pozo de CESPE LM09 les correspondieron valores negativos.

Chilingar (1958), por su parte, estableció que al cumplir con la relación:

$$\frac{Na - Cl}{SO_4} < 1 \quad (6)$$

la muestra de agua corresponde a una de tipo $NaSO_4$, y cuando

$$\frac{Na - Cl}{SO_4} > 1 \quad (6)$$

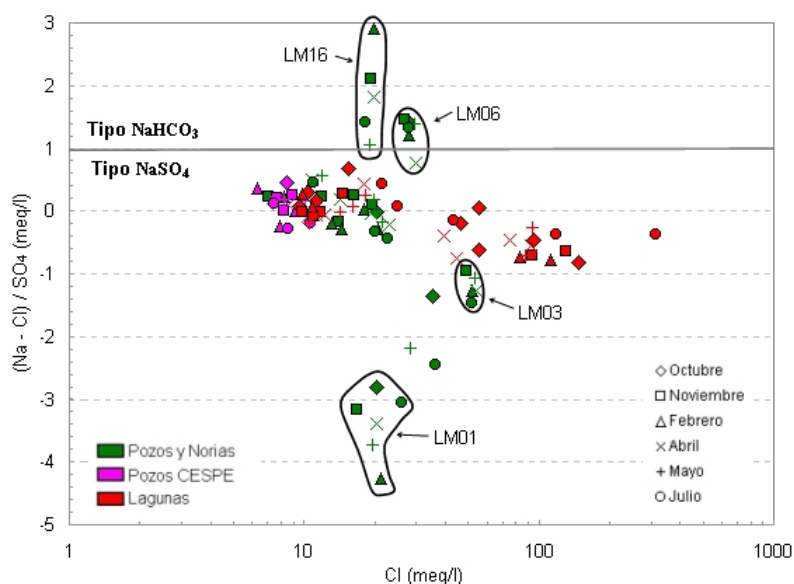


Figura 58. Diagrama de clasificación de agua de acuerdo con Chilingar (1958). LM06 y LM16 presentaron características de agua potable.

la muestra es del tipo $NaHCO_3$. Con base en esto, en la figura 57 se observa que sólo las muestras de los pozos LM06 y LM16 presentaron un marcado carácter $NaHCO_3$, al contrario de los demás sitios. Por ende, es posible que las diferencias que registraron estas muestras en la figura 54, en donde mostraron enriquecimiento de Na con respecto al Cl,

sean debido al desplazamiento del Cl con iones de HCO_3 , lo que implica que estos sitios reciben agua de una fuente distinta, o que el agua de estas muestras tiene los mayores tiempos de residencia en el acuífero, alternativas que pueden indicar un “lavado” del agua

salobre de esos pozos mediante la infiltración de agua más dulce (Appelo y Postma, 1993).

El comportamiento del contenido de Li en el agua es un buen indicador de la extensión del tiempo de residencia del agua o interacción con el material del acuífero (Guendouz *et al.*, 2003; Huizar-Álvarez *et al.*, 2004), ya que es uno de los cationes más conservativos en solución (Hem, 1985).

Al graficar el contenido de Cl contra Li se observaron dos tendencias, una que involucra altos tiempos de residencia permitiendo la interacción agua-

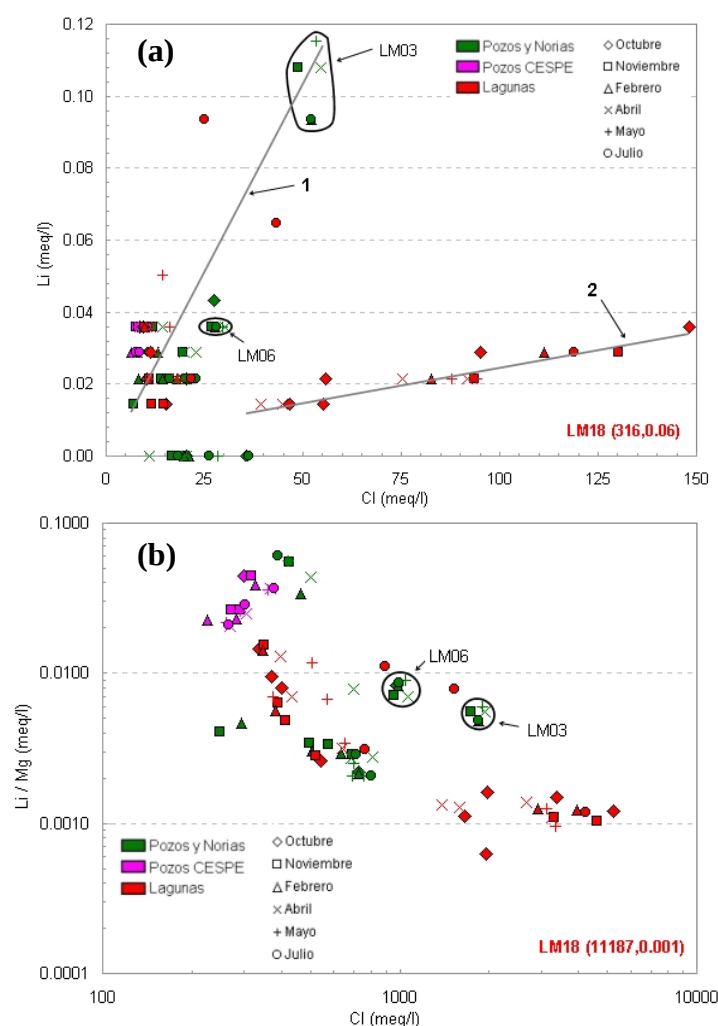


Figura 59. Relaciones de Cl vs Li (a) y Cl vs Li/Mg (b). Se observa que el agua en LM03 y LM06 presenta alto tiempo de residencia al igual que los pozos de CESPE.

roca (recta 1) y un aumento en las concentraciones de Li cuando el contenido de Cl es menor (Figura 59a). Otra tendencia presenta altas concentraciones de Cl sin aumento

significativo de Li (recta 2) (Figura 59a), lo que implica una corta permanencia del agua en el acuífero y un mayor índice de evaporación (Schmassmann *et al.*, 1992; Kretzschmar, 1995).

La relación de Cl contra la razón Li/Mg, que se realizó con base en Kretzschmar (1995) (Figura 59b), da una mejor idea de los tiempos de residencia en el acuífero, mismos que son mayores a la izquierda del gráfico y corresponden principalmente a los pozos de CESPE, reflejando la protección de esta zona del acuífero contra los efectos de la evaporación; mientras que a la derecha del gráfico se agruparon las lagunas más cercanas a la costa, en donde la evaporación ejerció mayor influencia.

IX. CONCLUSIONES

El monitoreo de octubre de 2003 a julio de 2004 y el análisis químico del agua del acuífero de La Misión permitieron caracterizar su composición e interpretar las posibles causas de sus variaciones estacionales y espaciales.

Los pozos y norias de La Misión se clasifican como agua salobre al sobrepasar el límite superior de SDT del agua potable (1000 mg/l). En las lagunas se alcanzó el rango de agua salina (>10,000 mg/l).

Se observó un deterioro del acuífero a través del tiempo durante el período de octubre de 2003 a abril de 2004. Sin embargo, los pozos de CESPE presentaron contenidos de sales propios de agua potable.

El detrimento de la calidad de agua en la mayoría de norias y pozos particulares, con base en el contenido de SDT, fue interpretado como consecuencia de una combinación de intrusión de agua salina por su cercanía a la costa y de evaporación al aumentar el contenido de SDT con respecto al nivel relativo de agua (Figura 49). Las lagunas con distancias a la costa mayores a 2000 m presentaron evidencias de deterioro por evaporación, de acuerdo con el modelo de Gibbs (Figura 52).

En los pozos LM04, LM12, LM12a y LM16 la disminución relativa del nivel de agua fue ocasionada por la extracción de agua, ya que se conservaron constantes sus concentraciones de SDT (Figura 49). Esto sugiere que en estos pozos el acuífero está más protegido de los efectos de la evaporación.

Los niveles de agua medidos siguen las tasas de precipitación y evapotranspiración reportadas por CNA (2005), a excepción de la noria LM16, en la que después de la mayor

precipitación del período (segunda quincena de febrero de 2004) se registró una disminución de nivel de agua, mostrando una respuesta más lenta a los efectos de la lluvia que el resto de los sitios.

Es destacable que la laguna LM17, la más cercana al océano, presentó siempre mejor calidad del agua que el sitio LM18, conducta que se explica con la preferencia del arroyo Guadalupe a fluir superficialmente por el costado norte del área de estudio, rodeando así la posición de la laguna LM18, la cual debe su existencia principalmente a los eventos esporádicos de lluvia de la región que provocan un aumento en los niveles del arroyo y la inundan.

Todos los sitios rebasaron el máximo permitido por la S.S.A. en la NOM para agua potable principalmente en la concentración de aniones. En cambio, la mayoría de los sitios estuvo por debajo del máximo de HCO_3 y NO_3 , siendo la excepción la noria LM16, en donde las concentraciones de NO_3 fueron muy elevadas debido a la presencia de animales de granja que producen desechos que son lixiviados por la lluvia, aunado a la existencia de fosas sépticas en los ranchos y casas visitados que pueden producir este tipo de contaminación. Aunque el valle de La Misión tiene como actividad principal la agricultura no se observó contaminación asociada a ella.

La relación de contenido de los principales metales en la mayoría de los pozos (Ca, Mg y Na) con el contenido de SDT fue positiva, lo que indica que estos componentes en el agua provienen en general de fuentes similares.

Con base en la nomenclatura de Piper, las aguas de pozos y norias particulares se clasificaron como Cl-cación mezclado, mientras que los pozos de CESPE fueron

clasificados como Cl-Na al igual que las lagunas, las cuales ocasionalmente presentaron enriquecimiento de SO_4 y Ca.

De acuerdo con Appelo y Postma (1993), las proporciones de iones graficadas en los diagramas de Piper corresponden principalmente a aguas con intrusión de agua marina, además, a través del tiempo las proporciones de Cl y Ca aumentaron y las de SO_4 y HCO_3 disminuyeron (Figuras 45 a 48).

Se evidenció una mejoría en la calidad del agua del pozo LM06 y la noria LM16, al mostrar un carácter predominantemente bicarbonatado sódico, fundamento que implica la presencia de agua más fresca proveniente de alguna otra fuente mediante fracturas en la roca que alimentan estos sitios con HCO_3 y elimina a los cloruros del sistema.

El tiempo de residencia del agua en el acuífero parece ser mayor en los pozos de CESPE y más cortos en las lagunas, como lo indica la presencia de Li (Figura 59).

Por tanto, a través del tiempo el acuífero está sufriendo un deterioro continuo dominado por la evaporación provocada por la exposición directa del acuífero a la atmósfera debido en parte a la explotación de arenas. Asimismo, la intrusión salina afecta a más del 90% de los sitios muestreados, aunque puede avanzar aun más si el acuífero es explotado de forma desmedida.

LITERATURA CITADA

- Appelo, C.A.J. y D. Postma, 1993. *Geochemistry Groundwater and Pollution*. A.A. Balkema Publishers. Brookfield, Vermont. Primera edición. 536 pp.
- Ashby, J.R. y J.A. Minch, 1984. The Upper Pliocene San Diego Formation and the Occurrence of *Carcharodon megalodon* at La Joya, Tijuana, Baja California, Mexico. En: Minch, J.A. y Ashby, J.R. (eds.). *Miocene and Cretaceous Depositional Environments, Northwestern Baja California, Mexico*. Pacific Section A.A.P.G. 54: 19-27.
- Brassington, R., 1998. *Field Hydrogeology*. John Wiley & Sons Ltd. Segunda edición. Sussex, Inglaterra. 248 pp.
- CESPE, 1997. Proyecto Geohidrológico La Misión, Ensenada, Baja California. Elaborado por Manuel Andrade Borbolla. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada. 34 pp.
- CESPE, 1998. Proyecto Hidrológico "La Misión": Programa de prospección geofísica para ubicación de pozo profundo en el valle de La Misión, municipio de Ensenada, Baja California. Elaborado por Manuel Andrade Borbolla. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada. 43 pp.
- Chilingar, G.V., 1958. Chemical composition of oil-field waters from Apsheron Peninsula, Azerbaidzhan SSR: A summary. *Geochim. Cosmoch. Acta*. 53: 821-832.
- CNA y CFE, 1999. Caracterización Hidrogeológica en la Desembocadura del Río de La

- Misión. Comisión Nacional del Agua y Comisión Federal de Electricidad. 27 pp.
- CNA y JRC-Green, 2004. Resultado de las Exploraciones en La Misión, Baja California, México: Estudio básico para el desarrollo de la presa subterránea. Comisión Nacional del Agua y Japanese Resource Corporation. Mexicali, B.C.
- CNA, 2002. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero La Misión, Estado de Baja California. Comisión Nacional del Agua. México. 17 pp.
- CNA, 2005. Observaciones Climatológicas Estación 152 La Misión. Informe de la Jefatura de Proyecto de Meteorología. Mexicali, B.C. 3 pp.
- Custodio, E., 2002. Aquifer Overexploitation: what does it mean?. Springer-Verlag. Hydrogeology Journal. 10: 254-277.
- Drever, J.I., 1997. The Geochemistry of Natural Waters: Surface and Groundwater Environments. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey. Tercera edición. 436 pp.
- EPA, 1991. Supplemental Guidelines for Plans and Operations of Monitoring Wells at Class I Injection Facilities. United States Environmental Protection Agency: Region V. http://www.epa.gov/R5water/uic/r5guid/supp_monitor_well.htm#F. Mayo 2005
- EPA, 1997. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. United States Environmental Protection Agency: Office of Water Quality. 224 pp.
- Erdélyi, M. y J. Gálfi, 1988. Surface Mapping in Hydrogeology. Wiley-Interscience. Hungría. Primera edición. 384 pp.
- Fetter, C.W., 2001. Applied Hydrogeology. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New

- Jersey. Cuarta edición. 598 pp.
- Güler, C., G.D. Thyne, J.E. McCray y A.K. Turner, 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Springer-Verlag. Hydrogeology Journal. 10: 455-474.
- Guendouz, A., A.S. Moulla, W.M. Edmunds, K. Zouari, P. Shand y A. Mamou, 2003. Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara. Springer-Verlag. Hydrogeology Journal. 11: 483-495.
- Hem, J.D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. Estados Unidos. Tercera edición. 264 pp.
- Hinojosa-Corona, A. y B.A. Serrato-De La Cruz, 2004. Imagen de Satélite Humedales de Baja California: La Salina. <http://ikonos2.cicese.mx/humedales/humedales.htm>. Diciembre de 2004.
- Hitchon, B., E.H. Perkins y W.D. Gunter, 1999. Introduction to Ground Water Geochemistry. Geoscience Publishing Ltd. Alberta, Canadá. Primera edición. 310 pp.
- Huizar-Alvarez, R., J.J. Carrillo-Rivera, G. Ángeles-Serrano, T. Herat y A. Cardona, 2004. Chemical response to groundwater extraction southeast of Mexico City. Springer-Verlag. Hydrogeology Journal. 12: 436-450.
- INEGI, 1976. Hoja Primo Tapia (I11D81), Carta Geológica 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

- INEGI, 1995. Estudio Hidrológico del Estado de Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes. Primera edición. 180 pp.
- INEGI, 1996. Hoja Primo Tapia (I11D81), Carta Topográfica 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- Kehew, A.E., 2001. Applied Chemical Hydrogeology. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey. Primera edición. 368 pp.
- Kretzschmar, T.G., 1995. Hydrochemische, petrographische und thermodynamische Untersuchungen zur Genese tiefer Buntsandsteinwässer in Baden Württemberg. Tesis Doctorado. Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten. Alemania. 142 pp.
- Kurczyn-Robledo, J.A., 2005. Evaluación del potencial de escurrimiento superficial, al NE del Valle de Guadalupe utilizando el método de las curvas numeradas e imágenes de satélite. Tesis M.C. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 90 pp.
- Langmuir, D., 1997. Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River, New Jersey. Primera edición. 600 pp.
- Lugo-Hubp, J., 1990. El Relieve de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista. 9: 82-111.
- Miller, J.M., 1988. Chromatography: Concepts and Contrasts. John Wiley & Sons Inc. Estados Unidos. Primera edición. 297 pp.
- Minch, J.A.; J.R. Ashby; T.A. Demere y H.T. Kuper, 1984. Correlation and Depositional Environments of the Middle Miocene Rosarito Beach Formation of Northwestern Baja California, Mexico. En: Minch, J.A. y Ashby, J.R. (eds.). Miocene and

- Cretaceous Depositional Environments, Northwestern Baja California, Mexico. Pacific Section A.A.P.G. 54: 33-46.
- Pankow, J.F., 1991. Aquatic Chemistry Concepts. Lewis Publishers, Inc. Chelsea, Michigan. Primera edición. 673 pp.
- Robards, K., P.R. Haddad y P.E. Jackson, 1994. Principles and Practice of Modern Chromatographic Methods. Academic Press Limited. Sand Diego, California. Primera edición. 495 pp.
- S.R.H., 1975. Estudio Geohidrológico del Valle de La Misión en el Estado de Baja California Norte. Elaborado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México. 77 pp.
- S.S.A., 2000. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario. México. 7 pp.
- Schmassmann, H., M. Kullin y K. Schneemann, 1992. Hydrochemische Synthese Nordschweiz: Buntstandstein-, Perm- und Kristallin-Aquifere. Nagra, Technische Berichte. 91-30: 1-493.
- Schoeller, H., 1959. Arid Zone Hydrology, recent developments. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris. 125 pp.
- Steinich, B., O. Escolero y L.E. Marín, 1998. Salt-water intrusion and nitrate contamination in the valley of Hermosillo and El Sahuaral costal aquifers, Sonora,

- Mexico. Springer-Verlag. Hydrogeology Journal. 6: 518-526.
- Weight, W.D. y J.L. Sonderegger, 2001. Manual of Applied Field Hydrogeology. McGraw-Hill. Estados Unidos. 608 pp.
- Weiss, J., 1986. Handbook of Ion Chromatography. Dionex Corporation. Sunnyvale, California. Primera edición. 244 pp.
- WHO, 2004. Guidelines for Drinking-Water Quality. World Health Organization. Ginebra, Suiza. Tercera edición. 515 pp.
- Yeo, R.K. y J.A. Minch, 1984. Field Guide – Miocene and Cretaceous Depositional Environments of Northwestern Baja California, Mexico. En: Minch, J.A. y Ashby, J.R. (eds.). Miocene and Cretaceous Depositional Environments, Northwestern Baja California, Mexico. Pacific Section A.A.P.G. 54: 1-18.
- Yeo, R.K., 1984. Sedimentology of Upper Cretaceous Strata, Northern Baja California, Mexico. En: Minch, J.A. y Ashby, J.R. (eds.). Miocene and Cretaceous Depositional Environments, Northwestern Baja California, Mexico. Pacific Section A.A.P.G. 54: 57-68.

ANEXOS

- I. Aniones Obtenidos con el Cromatógrafo de Iones.**
- II. Elementos Obtenidos con ICP.**
- III. Cotejo de resultados de S y SO₄.**
- IV. Cálculo de SiO₂ a partir de Si.**
- V. Abundancia Percentil de Iones.**

ANEXO I. ANIONES OBTENIDOS CON EL CROMATÓGRAFO DE IONES (mg/l).

LM01						
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	0.46	719.0	0.00	9.44	161.0	351.53
13-Nov	0.35	594.0	0.00	6.83	106.0	464.61
11-Feb	0.00	748.6	0.00	35.51	131.3	398.73
03-Abr	0.00	724.0	0.00	27.99	131.9	362.01
28-May	0.90	692.0	0.00	26.21	125.7	325.29
21-Jul	0.30	930.3	0.00	27.47	216.6	421.11
prom	0.34	734.6	0.00	22.24	145.4	387.21
sd	0.31	100.3	0.00	10.44	35.7	46.57
rango	0.90	336.3	0.00	28.68	110.6	139.32

LM02						
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
	2.74	726.0	0.00	0.83	471.0	395.47
	2.73	696.0	0.00	0.80	448.0	495.02
	1.20	728.1	0.00	9.09	439.6	439.42
	1.19	814.2	0.00	6.79	471.1	448.58
	1.27	757.8	0.00	5.81	414.9	457.73
	1.26	805.3	0.00	4.95	501.0	512.65
	1.73	754.6	0.00	4.71	457.6	458.15
	0.71	43.0	0.00	3.03	27.4	38.08
	1.55	118.2	0.00	8.29	86.2	117.18

LM03						
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	0.46	1730.0	0.00	1.77	722.0	549.27
	0.35	1844.8	0.00	11.32	741.3	465.86
	0.00	1930.2	0.00	9.35	769.6	476.14
	0.00	1891.1	0.00	9.22	741.2	486.41
	0.00	1851.3	0.00	6.08	713.7	537.06
	0.16	1849.5	0.00	7.55	737.5	502.95
	0.20	67.2	0.00	3.34	19.3	33.70
	0.46	1930.2	0.00	11.32	769.6	549.27

LM04						
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
03-Oct	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
13-Nov	3.72	576.0	0.00	0.79	314.0	579.79
11-Feb	1.89	634.1	0.00	13.34	327.0	500.45
03-Abr	1.95	687.6	0.00	8.73	357.4	520.90
28-May	1.75	701.9	0.00	5.10	372.8	541.34
21-Jul	2.12	716.8	0.00	7.57	391.7	585.89
prom	2.29	663.3	0.00	7.11	352.6	545.67
sd	0.73	51.8	0.00	4.14	28.7	33.04
rango	1.97	140.8	0.00	12.55	77.7	85.44

LM05						
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	2.59	495.0	0.00	3.48	334.0	393.30
	0.79	509.2	0.00	16.12	306.4	345.84
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	1.69	502.1	0.00	9.80	320.2	369.57
	0.90	7.1	0.00	6.32	13.8	23.73
	1.80	14.2	0.00	12.64	27.6	47.46

LM06						
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	6.38	977.0	0.00	0.00	336.0	497.39
	7.26	953.0	0.00	0.00	311.0	528.93
	3.79	987.2	0.00	0.00	289.4	471.97
	3.43	1066.3	0.00	5.95	337.8	463.93
	3.59	1047.9	0.00	0.00	267.7	455.89
	4.81	996.0	0.00	0.00	282.9	549.27
	4.88	1004.6	0.00	0.99	304.1	494.56
	1.46	39.7	0.00	2.22	26.4	34.46
	3.83	113.3	0.00	5.95	70.1	93.38

LM07						
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
03-Oct	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
13-Nov	3.13	249.0	0.00	0.33	312.0	427.21
11-Feb	2.58	292.2	0.00	6.03	377.5	496.38
03-Abr	1.12	61.7	0.00	0.00	72.6	0.00
28-May	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
21-Jul	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
prom	2.85	270.6	0.00	3.18	344.8	461.80
sd	0.28	21.6	0.00	2.85	32.8	34.59
rango	0.55	43.2	0.00	5.70	65.5	69.17

LM08						
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	4.25	299.0	0.00	0.23	137.0	88.77
	3.90	317.0	0.00	0.10	147.0	115.28
	2.98	325.6	0.00	1.93	135.6	69.17
	3.60	365.6	0.00	0.99	156.2	74.26
	2.86	358.5	0.00	0.86	146.7	79.34
	4.18	379.4	0.00	0.56	156.6	73.24
	3.63	340.8	0.00	0.78	146.5	83.34
	0.55	28.8	0.00	0.60	8.2	15.55
	1.39	80.4	0.00	1.83	21.0	46.11

LM09						
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	3.99	272.0	0.00	0.00	136.0	166.14
	2.51	225.2	0.00	0.00	100.6	130.20
	3.61	269.4	0.00	0.00	118.2	140.47
	2.62	289.7	0.00	0.00	103.0	150.74
	3.28	264.9	0.00	1.39	106.4	152.58
	3.20	264.2	0.00	0.28	112.9	148.03
	0.57	21.2	0.00	0.56	13.1	12.09
	1.48	64.4	0.00	1.39	35.4	35.94

ANEXO I. ANIONES OBTENIDOS CON EL CROMATÓGRAFO DE IONES (mg/l) (continuación).

	LM10							LM11							LM12					
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃		F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃		F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	sin dato					134.27		5.26	338.0	0.00	0.43	135.0	70.79		s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
13-Nov	3.99	291.0	0.00	0.00	132.0	162.75		5.02	360.0	0.00	0.27	145.0	73.24		4.76	423.0	0.00	0.53	151.0	149.52
11-Feb	2.75	280.9	0.00	0.00	104.5	128.16		3.65	362.4	0.00	2.55	127.4	48.82		2.86	462.2	0.00	12.80	147.5	105.79
03-Abr	3.68	304.0	0.00	0.00	115.6	137.32		4.06	379.1	0.00	3.00	136.1	57.98		3.72	503.6	0.00	13.44	157.6	128.27
28-May	2.48	260.3	0.00	1.39	107.1	146.47		s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.		3.82	420.6	0.00	1.78	102.7	150.74
21-Jul	3.57	301.5	0.00	0.00	95.4	122.06		sin dato					67.13		4.82	388.2	0.00	0.54	136.6	195.30
prom	3.29	287.5	0.00	0.28	110.9	139.35		4.50	359.9	0.00	1.56	135.9	62.71		4.00	439.5	0.00	5.82	139.1	145.92
sd	0.58	15.9	0.00	0.56	12.4	13.22		0.66	14.6	0.00	1.22	6.2	9.89		0.73	39.7	0.00	5.98	19.4	29.65
rango	1.51	43.8	0.00	1.39	36.6	40.69		1.61	41.1	0.00	2.73	17.6	24.42		1.96	115.4	0.00	12.91	54.9	89.51

	LM13							LM14							LM15					
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃		F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃		F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	2.69	337.0	0.00	0.14	316.0	78.12		4.54	370.0	0.00	0.00	178.0	197.74		3.88	400.0	0.00	0.00	327.0	109.85
13-Nov	3.02	348.0	0.00	0.00	320.0	119.01		3.45	414.0	0.00	0.00	216.0	278.03		3.51	389.0	0.00	0.00	336.0	164.78
11-Feb	1.79	346.7	0.00	2.87	294.5	101.72		s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.		2.39	382.4	0.00	2.32	368.8	142.40
03-Abr	2.12	398.6	0.00	0.00	308.6	97.40		s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.		3.08	433.5	0.00	2.25	407.0	138.34
28-May	3.41	505.6	0.00	1.65	560.9	93.07		s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.		2.68	569.9	0.00	0.00	543.4	134.27
21-Jul	2.48	889.3	0.00	0.00	1473.1	103.75		s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.		5.11	1534.3	0.00	0.00	1311.7	67.13
prom	2.59	470.9	0.00	0.78	545.5	98.84		4.00	392.0	0.00	0.00	197.0	237.88		3.44	618.2	0.00	0.76	549.0	126.13
sd	0.54	195.8	0.00	1.11	424.9	12.27		0.54	22.0	0.00	0.00	19.0	40.15		0.90	414.6	0.00	1.08	348.6	30.87
rango	1.61	552.3	0.00	2.87	1178.6	40.89		1.09	44.0	0.00	0.00	38.0	80.29		2.72	1151.9	0.00	2.32	984.7	97.65

	LM16							LM17							LM18					
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃		F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃		F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	5.12	648.0	0.00	13.00	214.0	429.65		3.45	3370.0	0.00	0.00	933.0	195.30		4.16	5250.0	0.00	0.00	1380.0	221.93
13-Nov	5.51	680.0	0.00	6.36	185.0	545.88		3.79	3320.0	0.00	0.00	891.0	236.19		5.61	4620.0	0.00	0.00	1180.0	349.23
11-Feb	2.59	700.5	0.00	25.46	171.9	591.99		1.85	2929.9	0.00	0.00	849.8	223.37		1.43	3949.9	0.00	5.66	1003.3	292.94
03-Abr	2.97	697.9	0.00	64.16	219.0	489.15		1.87	2666.5	0.00	0.00	838.2	168.14		1.01	3258.7	0.00	0.00	933.7	281.65
28-May	3.24	671.2	0.00	33.19	182.5	386.30		1.45	3118.2	0.00	0.00	930.0	112.91		1.44	5501.3	0.00	0.00	1724.6	270.36
21-Jul	3.15	648.4	0.00	180.28	155.4	396.70		2.01	4215.2	0.00	3.44	1514.2	268.53		8.69	11186.7	0.00	0.00	3936.7	274.64
prom	3.49	679.6	0.00	61.89	182.8	482.00		2.40	3270.0	0.00	0.57	992.7	200.74		4.18	5653.1	0.00	1.13	1686.7	284.08
sd	1.03	19.1	0.00	62.06	20.9	80.83		0.88	484.6	0.00	1.28	236.0	50.29		2.83	2845.5	0.00	2.26	1135.5	40.70
rango	2.92	52.1	0.00	173.92	63.6	205.69		2.34	1548.7	0.00	3.44	676.0	155.63		7.68	7928.0	0.00	5.66	3003.0	127.30

ANEXO I. ANIONES OBTENIDOS CON EL CROMATÓGRAFO DE IONES (mg/l) (continuación).

	LM19					
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	3.59	545.0	0.00	0.00	435.0	311.93
13-Nov	3.97	522.0	0.00	0.00	452.0	281.42
11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
03-Abr	3.22	638.3	0.00	0.00	510.0	275.89
28-May	1.93	650.9	0.00	0.00	540.5	270.36
21-Jul	2.36	762.2	0.00	1.81	555.1	402.80
prom	3.01	623.7	0.00	0.36	498.5	308.48
sd	0.76	85.6	0.00	0.72	47.5	49.31
rango	2.04	240.2	0.00	1.81	120.1	132.44

	LM20					
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	2.40	1650.0	0.00	0.00	909.0	104.31
13-Nov	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
03-Abr	0.00	1390.9	0.00	0.00	750.1	121.12
28-May	1.31	3343.6	0.00	0.00	1611.3	137.93
21-Jul	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
prom	1.24	2128.2	0.00	0.00	1090.1	121.12
sd	0.98	865.9	0.00	0.00	374.2	13.73
rango	2.40	1952.7	0.00	0.00	861.3	33.62

	LM21					
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	3.16	1960.0	0.00	0.00	1760.0	261.87
13-Nov	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
03-Abr	1.70	1584.9	0.00	0.00	603.1	sin dato
28-May	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
21-Jul	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
prom	2.43	1772.4	0.00	0.00	1181.5	130.94
sd	0.73	187.6	0.00	0.00	578.5	130.94
rango	1.46	375.1	0.00	0.00	1156.9	261.87

	LM22					
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	2.95	1980.0	0.00	0.00	584.0	255.22
13-Nov	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
03-Abr	2.61	362.9	0.00	1.69	288.9	203.90
28-May	2.62	373.2	0.00	0.00	242.5	152.58
21-Jul	3.47	509.6	0.00	1.15	262.5	152.58
prom	2.79	1176.6	0.00	0.00	413.2	203.90
sd	0.16	803.4	0.00	0.00	170.8	51.32
rango	0.33	1606.8	0.00	0.00	341.5	102.64

	LM23					
	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	HCO ₃
03-Oct	0.74	1260.0	0.00	0.82	232.0	563.92
13-Nov	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
03-Abr	0.00	384.9	0.00	0.00	123.0	541.36
28-May	0.59	1001.3	0.00	3.10	171.6	518.80
21-Jul	0.46	1287.7	0.00	25.93	221.5	695.74
prom	0.45	983.5	0.00	7.46	187.0	579.95
sd	0.28	363.2	0.00	10.72	43.4	68.73
rango	0.74	902.8	0.00	25.93	109.0	176.94

ANEXO II. ELEMENTOS OBTENIDOS CON ICP (mg/l).

		Mayores				Mayores secundarios						Traza					
		Ca	K	Mg	Na	B	Fe	Mn	P	S	Si	Ba	Cu	Li	Mo	Sr	Zn
LM 01	03-Oct	161.0	16.0	149.0	250.0	0.488	0.00	0.00	0.70	50.0	34.9	0.060	0.018	0.00	0.00	0.720	0.010
	13-Nov	149.0	14.8	136.0	225.0	0.435	0.05	0.00	0.80	38.0	37.8	0.060	0.032	0.00	0.00	0.630	0.000
	11-Feb	171.0	13.1	156.0	217.0	0.438	0.00	0.00	1.46	45.0	35.0	0.060	0.026	0.00	0.00	0.650	0.015
	03-Abr	156.0	16.1	146.0	256.0	0.580	0.00	0.00	1.78	49.0	36.8	0.060	0.020	0.00	0.00	0.700	0.035
	28-May	118.0	4.7	40.4	224.0	2.390	0.20	0.51	0.30	88.0	15.1	0.040	0.000	0.15	0.00	0.450	0.000
	21-Jul	182.0	15.7	172.0	286.0	0.823	0.00	0.00	0.80	66.0	32.2	0.060	0.004	0.00	0.00	0.730	0.000
	prom	156.2	13.4	133.2	243.0	0.859	0.04	0.09	0.97	56.0	32.0	0.057	0.017	0.03	0.00	0.647	0.010
	sd	20.1	4.0	42.9	23.9	0.697	0.07	0.19	0.50	16.6	7.7	0.007	0.011	0.06	0.00	0.095	0.013
	rango	64.0	11.4	131.6	69.0	1.955	0.20	0.51	1.48	50.0	22.7	0.020	0.032	0.15	0.00	0.280	0.035
LM 02	03-Oct	185.0	16.3	120.0	465.0	2.230	0.00	1.39	0.94	157.0	30.4	0.040	0.010	0.15	0.01	0.810	0.010
	13-Nov	183.0	16.2	122.0	474.0	2.300	0.07	1.75	1.10	153.0	32.9	0.040	0.006	0.20	0.00	0.810	0.010
	11-Feb	190.0	13.3	123.0	413.0	2.100	0.00	0.90	1.44	156.0	30.0	0.020	0.004	0.15	0.00	0.730	0.015
	03-Abr	190.0	15.7	126.0	477.0	2.260	0.00	1.48	1.40	148.0	34.4	0.040	0.006	0.20	0.01	0.840	0.700
	28-May	193.0	14.4	128.0	458.0	2.220	0.00	1.69	5.72	146.0	34.6	0.040	0.000	0.15	0.01	0.850	0.000
	21-Jul	200.0	13.3	128.0	414.0	2.140	0.00	1.97	2.98	166.0	28.4	0.040	0.000	0.15	0.01	0.780	0.000
	prom	190.2	14.9	124.5	450.2	2.208	0.01	1.53	2.26	154.3	31.8	0.037	0.004	0.17	0.01	0.803	0.123
	sd	5.5	1.3	3.0	26.6	0.068	0.03	0.34	1.68	6.5	2.3	0.007	0.004	0.02	0.00	0.040	0.258
	rango	17.0	3.0	8.0	64.0	0.200	0.07	1.07	4.78	20.0	6.2	0.020	0.010	0.05	0.01	0.120	0.700
LM 03	03-Oct	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	13-Nov	433.0	16.2	236.0	790.0	1.300	0.03	0.06	0.68	236.0	11.3	0.060	0.006	0.75	0.01	2.650	0.010
	11-Feb	426.0	14.0	237.0	743.0	1.270	0.00	0.03	0.90	237.0	11.0	0.060	0.000	0.65	0.01	2.560	0.025
	03-Abr	438.0	15.2	237.0	783.0	1.340	0.02	0.04	3.30	239.0	11.7	0.060	0.004	0.75	0.00	2.610	0.020
	28-May	425.0	16.0	234.0	850.0	1.500	0.00	0.04	1.88	234.0	13.0	0.060	0.004	0.80	0.00	2.820	0.000
	21-Jul	427.0	12.5	235.0	701.0	1.290	0.00	0.04	0.80	230.0	10.9	0.060	0.000	0.65	0.00	2.320	0.000
	prom	429.8	14.8	235.8	773.4	1.340	0.01	0.04	1.51	235.2	11.6	0.060	0.003	0.72	0.00	2.592	0.011
	sd	5.0	1.4	1.2	49.8	0.083	0.01	0.01	0.99	3.1	0.8	0.000	0.002	0.06	0.00	0.162	0.010
	rango	13.0	3.7	3.0	149.0	0.230	0.03	0.03	2.62	9.0	2.1	0.000	0.006	0.15	0.01	0.500	0.025
LM 04	03-Oct	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	13-Nov	179.0	8.3	78.2	412.0	2.430	0.11	1.10	0.22	94.0	13.2	0.080	0.008	0.15	0.02	0.670	0.020
	11-Feb	196.0	7.6	90.2	414.0	2.460	0.00	1.82	1.00	101.0	13.8	0.080	0.000	0.15	0.02	0.730	0.000
	03-Abr	195.0	8.0	96.4	441.0	2.610	0.36	1.84	2.58	120.0	14.2	0.080	0.004	0.15	0.02	0.780	0.000
	28-May	211.0	9.2	104.0	487.0	2.750	0.15	2.15	3.58	130.0	15.5	0.080	0.000	0.15	0.02	0.850	0.000
	21-Jul	214.0	6.9	91.4	402.0	2.350	0.50	1.67	3.58	132.0	12.9	0.080	0.000	0.15	0.02	0.720	0.000
	prom	199.0	8.0	92.0	431.2	2.520	0.22	1.72	2.19	115.4	13.9	0.080	0.002	0.15	0.02	0.750	0.004
	sd	12.6	0.8	8.5	30.7	0.143	0.18	0.35	1.36	15.3	0.9	0.000	0.003	0.00	0.00	0.061	0.008
	rango	35.0	2.3	25.8	85.0	0.400	0.50	1.05	3.36	38.0	2.6	0.000	0.008	0.00	0.01	0.180	0.020

ANEXO II. ELEMENTOS OBTENIDOS CON ICP (mg/l) (continuación).

		Mayores				Mayores secundarios						Traza					
		Ca	K	Mg	Na	B	Fe	Mn	P	S	Si	Ba	Cu	Li	Mo	Sr	Zn
LM 05	03-Oct	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	13-Nov	167.0	6.2	77.3	293.0	1.810	0.19	0.91	0.56	96.0	20.3	0.060	0.014	0.15	0.00	0.690	0.010
	11-Feb	163.0	5.5	86.7	288.0	1.780	0.00	0.90	0.96	94.0	21.5	0.060	0.004	0.15	0.00	0.680	0.000
	03-Abr	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	28-May	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	21-Jul	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	prom	165.0	5.9	82.0	290.5	1.795	0.10	0.91	0.76	95.0	20.9	0.060	0.009	0.15	0.00	0.685	0.005
	sd	2.0	0.4	4.7	2.5	0.015	0.10	0.01	0.20	1.0	0.6	0.000	0.005	0.00	0.00	0.005	0.005
LM 06	rango	4.0	0.7	9.4	5.0	0.030	0.19	0.01	0.40	2.0	1.2	0.000	0.010	0.00	0.00	0.010	0.010
	03-Oct	87.2	5.4	62.8	864.0	4.440	0.00	0.49	0.74	96.0	11.2	0.060	0.004	0.30	0.03	0.530	0.205
	13-Nov	88.2	5.3	61.2	836.0	4.350	0.09	0.46	1.80	91.0	11.1	0.060	0.000	0.25	0.03	0.500	0.050
	11-Feb	78.6	4.7	53.2	807.0	4.410	0.00	0.45	0.26	85.0	10.8	0.060	0.000	0.25	0.04	0.450	0.375
	03-Abr	92.0	4.4	62.4	815.0	4.440	0.19	0.41	2.96	95.0	12.6	0.060	0.000	0.25	0.03	0.500	1.010
	28-May	70.6	4.3	49.0	858.0	4.540	0.35	0.47	2.16	79.0	9.5	0.040	0.000	0.25	0.03	0.390	0.045
	21-Jul	73.7	4.2	50.6	825.0	4.800	0.27	0.46	2.74	83.0	9.7	0.060	0.000	0.25	0.04	0.410	0.210
	prom	81.7	4.7	56.5	834.2	4.497	0.15	0.46	1.78	88.2	10.8	0.057	0.001	0.26	0.03	0.463	0.316
LM 07	sd	7.9	0.5	5.8	21.0	0.147	0.13	0.02	0.99	6.3	1.0	0.007	0.001	0.02	0.00	0.051	0.330
	rango	21.4	1.2	13.8	57.0	0.450	0.35	0.08	2.70	17.0	3.1	0.020	0.004	0.05	0.02	0.140	0.965
	03-Oct	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	13-Nov	161.0	14.3	42.7	196.0	1.790	0.03	0.03	0.74	93.0	10.6	0.040	0.004	0.10	0.00	0.530	0.025
	11-Feb	188.0	5.5	56.8	229.0	2.110	0.00	2.64	0.80	133.0	12.0	0.060	0.000	0.15	0.01	0.610	0.020
	03-Abr	63.5	6.7	14.2	66.0	0.615	0.59	0.16	0.60	25.0	6.5	0.020	0.004	0.00	0.00	0.180	0.930
	28-May	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	21-Jul	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 08	prom	174.5	9.9	49.8	212.5	1.950	0.02	1.34	0.77	113.0	11.3	0.050	0.002	0.13	0.01	0.570	0.023
	sd	13.5	4.4	7.0	16.5	0.160	0.02	1.31	0.03	20.0	0.7	0.010	0.002	0.03	0.01	0.040	0.003
	rango	27.0	8.8	14.1	33.0	0.320	0.03	2.61	0.06	40.0	1.4	0.020	0.004	0.05	0.01	0.080	0.005
	03-Oct	47.2	4.5	9.9	223.0	2.630	0.05	0.03	0.02	42.0	14.9	0.020	0.004	0.25	0.01	0.220	0.010
	13-Nov	49.8	4.7	9.9	223.0	2.790	0.02	0.03	0.06	44.0	15.1	0.020	0.006	0.25	0.01	0.230	0.000
	11-Feb	55.2	4.1	11.2	211.0	2.890	0.00	0.05	0.16	44.0	14.7	0.020	0.012	0.25	0.01	0.230	0.015
	03-Abr	58.8	4.6	12.0	231.0	3.250	0.04	0.02	0.08	49.0	16.0	0.020	0.000	0.25	0.01	0.240	0.035
	28-May	58.0	4.7	12.2	244.0	3.300	0.03	0.03	0.46	49.0	16.0	0.020	0.004	0.25	0.01	0.250	0.000
LM 08	21-Jul	57.1	4.2	12.0	231.0	3.180	0.03	0.03	0.40	47.0	14.9	0.020	0.012	0.25	0.01	0.230	0.010
	prom	54.4	4.5	11.2	227.2	3.007	0.03	0.03	0.20	45.8	15.3	0.020	0.006	0.25	0.01	0.233	0.012
	sd	4.3	0.2	1.0	10.1	0.251	0.02	0.01	0.17	2.7	0.5	0.000	0.004	0.00	0.00	0.009	0.012
	rango	11.6	0.6	2.3	33.0	0.670	0.05	0.03	0.44	7.0	1.3	0.000	0.012	0.00	0.00	0.030	0.035

ANEXO II. ELEMENTOS OBTENIDOS CON ICP (mg/l) (continuación).

		Mayores				Mayores secundarios						Traza					
		Ca	K	Mg	Na	B	Fe	Mn	P	S	Si	Ba	Cu	Li	Mo	Sr	Zn
		s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 09	03-Oct	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	13-Nov	61.2	6.3	16.7	190.0	1.890	0.03	0.42	0.82	42.0	16.6	0.060	0.004	0.25	0.01	0.250	0.010
	11-Feb	57.0	5.1	15.6	163.0	1.610	0.00	0.34	0.16	36.0	14.8	0.040	0.000	0.20	0.01	0.220	0.020
	03-Abr	60.5	5.6	17.1	184.0	1.710	0.05	0.36	0.50	40.0	16.4	0.060	0.010	0.20	0.01	0.250	0.035
	28-May	61.0	5.8	17.0	197.0	1.630	0.07	0.27	0.24	37.0	14.6	0.020	0.000	0.25	0.01	0.260	0.010
	21-Jul	60.0	5.0	16.8	178.0	1.780	0.04	0.26	0.66	37.0	15.8	0.040	0.000	0.20	0.01	0.220	0.025
	prom	59.9	5.6	16.6	182.4	1.724	0.04	0.33	0.48	38.4	15.6	0.044	0.003	0.22	0.01	0.240	0.020
	sd	1.5	0.5	0.5	11.6	0.103	0.02	0.06	0.25	2.2	0.8	0.015	0.004	0.02	0.00	0.017	0.009
	rango	4.2	1.3	1.5	34.0	0.280	0.07	0.16	0.66	6.0	2.0	0.040	0.010	0.05	0.00	0.040	0.025
LM 10	03-Oct	67.1	7.0	16.9	202.0	1.450	0.04	0.34	0.04	44.0	14.7	0.020	0.004	0.30	0.00	0.310	0.050
	13-Nov	67.8	6.2	16.6	189.0	1.590	0.00	0.28	0.20	39.0	14.3	0.020	0.000	0.25	0.01	0.290	0.000
	11-Feb	59.3	5.3	15.2	170.0	1.450	0.00	0.24	0.26	33.0	13.1	0.020	0.000	0.20	0.01	0.240	0.015
	03-Abr	64.9	6.3	17.6	202.0	1.640	0.05	0.30	0.10	39.0	15.1	0.020	0.004	0.25	0.01	0.280	0.050
	28-May	56.7	5.0	16.0	175.0	1.620	0.03	0.31	0.02	37.0	15.6	0.040	0.006	0.20	0.01	0.220	0.220
	21-Jul	49.5	5.4	12.2	183.0	1.740	0.02	0.20	0.92	31.0	13.7	0.020	0.000	0.20	0.01	0.200	0.000
	prom	60.9	5.9	15.8	186.8	1.582	0.02	0.28	0.26	37.2	14.4	0.023	0.002	0.23	0.01	0.257	0.056
	sd	6.5	0.7	1.8	12.3	0.104	0.02	0.05	0.31	4.3	0.8	0.007	0.002	0.04	0.00	0.039	0.076
	rango	18.3	1.3	5.4	32.0	0.290	0.05	0.11	0.90	8.0	2.5	0.020	0.006	0.05	0.00	0.090	0.220
LM 11	03-Oct	43.7	5.6	6.1	260.0	3.400	0.04	0.00	0.44	43.0	16.0	0.020	0.054	0.30	0.01	0.230	0.020
	13-Nov	39.4	5.2	4.4	254.0	3.520	0.03	0.02	0.36	41.0	14.8	0.020	0.004	0.30	0.01	0.200	0.000
	11-Feb	41.8	4.7	5.1	232.0	3.280	0.02	0.02	0.18	39.0	14.0	0.020	0.000	0.25	0.01	0.190	0.000
	03-Abr	49.3	5.2	7.8	260.0	3.680	0.02	0.00	0.42	45.0	16.6	0.020	0.028	0.30	0.01	0.220	0.290
	28-May	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	21-Jul	40.0	4.7	4.0	247.0	3.560	0.00	0.00	0.02	41.0	14.1	0.020	0.016	0.25	0.00	0.180	0.010
	prom	42.8	5.1	5.5	250.6	3.488	0.02	0.01	0.28	41.8	15.1	0.020	0.020	0.28	0.01	0.204	0.064
	sd	3.7	0.3	1.3	11.5	0.148	0.01	0.01	0.10	2.2	1.0	0.000	0.022	0.02	0.00	0.016	0.123
	rango	9.9	0.9	3.4	28.0	0.400	0.02	0.02	0.26	6.0	2.6	0.000	0.054	0.05	0.00	0.040	0.290
LM 12	03-Oct	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	13-Nov	60.0	5.9	8.0	291.0	3.010	0.10	0.07	0.06	43.0	22.2	0.040	0.012	0.25	0.02	0.240	0.050
	11-Feb	75.2	5.8	10.4	286.0	2.750	0.02	0.25	0.40	46.0	18.8	0.060	0.032	0.20	0.01	0.280	0.070
	03-Abr	77.7	6.7	10.1	341.0	3.200	0.04	0.12	1.00	51.0	23.3	0.040	0.016	0.25	0.02	0.300	0.080
	28-May	55.5	5.2	6.2	300.0	2.700	0.04	0.10	0.70	36.0	23.9	0.040	0.010	0.20	0.01	0.220	0.030
	21-Jul	59.0	5.2	5.8	282.0	2.470	0.03	0.00	0.82	35.0	20.5	0.040	0.006	0.20	0.02	0.220	0.010
	prom	65.5	5.8	8.1	300.0	2.826	0.05	0.11	0.60	42.2	21.7	0.044	0.015	0.22	0.01	0.252	0.048
	sd	9.1	0.6	1.9	21.4	0.254	0.03	0.08	0.33	6.0	1.9	0.008	0.009	0.02	0.00	0.032	0.026
	rango	22.2	1.5	4.6	59.0	0.730	0.08	0.25	0.94	16.0	5.1	0.020	0.026	0.05	0.01	0.080	0.070

ANEXO II. ELEMENTOS OBTENIDOS CON ICP (mg/l) (continuación).

		Mayores				Mayores secundarios						Traza					
		Ca	K	Mg	Na	B	Fe	Mn	P	S	Si	Ba	Cu	Li	Mo	Sr	Zn
LM 13	03-Oct	99.4	8.5	30.4	229.0	2.280	0.00	1.53	0.02	94.0	19.2	0.080	0.004	0.25	0.00	0.360	0.000
	13-Nov	95.7	6.3	28.3	223.0	2.410	0.06	0.03	0.26	88.0	13.8	0.060	0.000	0.25	0.00	0.310	0.040
	11-Feb	95.6	17.8	30.8	262.0	2.650	0.02	0.66	0.58	96.0	9.4	0.040	0.004	0.25	0.01	0.320	0.000
	03-Abr	101.0	9.7	33.7	251.0	2.800	0.87	1.83	0.54	94.0	20.7	0.100	0.004	0.25	0.00	0.370	0.010
	28-May	170.0	13.6	52.1	326.0	3.240	0.07	0.45	0.88	180.0	7.1	0.080	0.000	0.35	0.01	0.550	0.000
	21-Jul	314.0	39.9	102.0	634.0	5.760	0.16	4.27	0.58	445.0	2.1	0.080	0.000	0.65	0.02	0.990	0.000
	prom	146.0	16.0	46.2	320.8	3.190	0.20	1.46	0.48	166.2	12.1	0.073	0.002	0.33	0.01	0.483	0.008
	sd	79.7	11.3	26.2	144.0	1.189	0.31	1.40	0.27	128.7	6.6	0.019	0.002	0.15	0.01	0.240	0.015
LM 14	rango	218.4	33.6	73.7	411.0	3.480	0.87	4.24	0.86	357.0	18.6	0.060	0.004	0.40	0.02	0.680	0.040
	03-Oct	89.0	7.1	27.4	265.0	2.570	0.00	0.52	0.60	56.0	9.5	0.040	0.006	0.15	0.00	0.360	0.000
	13-Nov	93.6	18.1	36.1	266.0	2.420	0.40	2.32	0.54	62.0	5.2	0.040	0.004	0.10	0.01	0.380	0.010
	11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	03-Abr	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	28-May	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	21-Jul	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	prom	91.3	12.6	31.8	265.5	2.495	0.20	1.42	0.57	59.0	7.4	0.040	0.005	0.13	0.01	0.370	0.005
LM 15	sd	2.3	5.5	4.3	0.5	0.075	0.20	0.90	0.03	3.0	2.2	0.000	0.001	0.03	0.01	0.010	0.005
	rango	4.6	11.0	8.7	1.0	0.150	0.40	1.80	0.06	6.0	4.3	0.000	0.002	0.05	0.01	0.020	0.010
	03-Oct	105.0	7.2	43.5	285.0	2.700	0.02	0.00	0.36	103.0	14.1	0.040	0.004	0.20	0.00	0.500	0.000
	13-Nov	116.0	7.4	41.6	237.0	2.370	0.03	0.05	0.74	95.0	9.0	0.040	0.000	0.15	0.00	0.460	0.035
	11-Feb	146.0	10.9	46.3	259.0	2.500	0.00	0.24	0.12	123.0	12.1	0.080	0.006	0.15	0.00	0.550	0.020
	03-Abr	150.0	10.0	50.0	271.0	2.660	0.06	0.06	1.18	125.0	9.9	0.080	0.004	0.20	0.00	0.540	0.000
	28-May	176.0	6.5	65.4	386.0	3.620	0.03	0.02	0.64	180.0	12.0	0.100	0.004	0.25	0.01	0.710	0.000
	21-Jul	368.0	21.8	101.0	903.0	7.620	0.03	0.07	0.18	398.0	9.6	0.160	0.000	0.45	0.02	1.320	0.000
LM 16	prom	176.8	10.6	58.0	390.2	3.578	0.03	0.07	0.54	170.7	11.1	0.083	0.003	0.23	0.00	0.680	0.009
	sd	88.6	5.2	20.8	234.1	1.852	0.02	0.08	0.36	105.2	1.8	0.041	0.002	0.10	0.01	0.297	0.014
	rango	263.0	15.3	59.4	666.0	5.250	0.06	0.24	1.06	303.0	5.1	0.120	0.006	0.30	0.02	0.860	0.035
	03-Oct	56.1	61.5	42.8	700.0	2.960	0.08	0.00	1.84	65.0	15.2	0.040	0.008	0.00	0.02	0.370	0.010
	13-Nov	49.1	50.8	35.0	627.0	2.720	0.03	0.00	2.64	54.0	14.5	0.040	0.006	0.00	0.02	0.290	0.000
	11-Feb	50.6	51.3	38.6	693.0	2.940	0.02	0.00	1.72	61.0	16.2	0.040	0.006	0.00	0.01	0.300	0.015
	03-Abr	63.2	50.9	44.5	644.0	3.260	0.03	0.00	3.62	69.0	31.6	0.040	0.006	0.20	0.01	0.350	0.000
	28-May	51.1	40.7	36.4	527.0	4.290	0.03	0.00	2.76	54.0	15.0	0.040	0.000	0.00	0.01	0.280	0.000
LM 16	21-Jul	45.9	38.7	32.7	526.0	2.700	0.05	0.03	3.20	48.0	15.0	0.040	0.000	0.00	0.00	0.260	0.000
	prom	52.0	46.5	37.4	603.4	3.182	0.03	0.01	2.79	57.2	18.5	0.040	0.004	0.04	0.01	0.296	0.003
	sd	5.9	5.6	4.0	66.4	0.590	0.01	0.01	0.64	7.2	6.6	0.000	0.003	0.08	0.00	0.030	0.006
	rango	17.3	12.6	11.8	167.0	1.590	0.03	0.03	1.90	21.0	17.1	0.000	0.006	0.20	0.02	0.090	0.015

ANEXO II. ELEMENTOS OBTENIDOS CON ICP (mg/l) (continuación).

		Mayores				Mayores secundarios						Traza					
		Ca	K	Mg	Na	B	Fe	Mn	P	S	Si	Ba	Cu	Li	Mo	Sr	Zn
LM 17	03-Oct	105.0	101.0	234.0	1980.0	4.600	0.00	0.09	0.82	283.0	6.8	0.080	0.004	0.20	0.01	1.330	0.000
	13-Nov	97.7	105.0	242.0	1850.0	4.040	0.03	0.04	0.18	293.0	3.3	0.080	0.000	0.15	0.01	1.110	0.010
	11-Feb	122.0	88.3	209.0	1600.0	4.120	0.02	0.04	0.92	270.0	7.7	0.080	0.004	0.15	0.01	1.120	0.000
	03-Abr	96.3	78.2	190.0	1540.0	4.230	0.02	0.02	1.10	260.0	7.9	0.060	0.004	0.15	0.01	1.010	0.000
	28-May	107.0	98.9	209.0	1710.0	4.370	0.00	0.00	2.08	332.0	3.4	0.080	0.000	0.15	0.01	0.990	0.000
	21-Jul	132.0	151.0	297.3	2460.0	7.260	0.00	0.03	1.02	462.0	6.8	0.080	0.000	0.20	0.01	1.290	0.000
	prom	110.0	103.7	230.2	1856.7	4.770	0.01	0.04	1.02	316.7	6.0	0.077	0.002	0.17	0.01	1.142	0.002
	sd	12.9	22.9	34.6	307.4	1.128	0.01	0.03	0.56	68.8	1.9	0.007	0.002	0.02	0.00	0.129	0.004
LM 18	rango	35.7	72.8	107.3	920.0	3.220	0.03	0.09	1.90	202.0	4.6	0.020	0.004	0.05	0.00	0.340	0.010
	03-Oct	160.0	174.0	366.0	2860.0	6.260	0.03	0.16	0.80	433.0	1.7	0.100	0.004	0.25	0.01	1.790	0.000
	13-Nov	133.0	157.0	341.0	2630.0	5.310	0.10	0.03	0.72	387.0	3.1	0.080	0.000	0.20	0.01	1.450	0.020
	11-Feb	138.0	131.0	286.0	2190.0	5.170	0.02	0.11	0.68	344.0	7.2	0.080	0.004	0.20	0.01	1.300	0.010
	03-Abr	121.0	106.0	239.0	1870.0	4.690	0.03	0.02	0.82	312.0	5.5	0.080	0.000	0.15	0.01	1.260	0.000
	28-May	147.0	182.0	377.0	2860.0	8.020	0.04	0.11	1.34	536.0	4.4	0.100	0.000	0.20	0.01	1.510	0.000
	21-Jul	255.0	398.0	776.0	6530.0	16.500	0.03	0.04	1.32	1120.0	0.3	0.120	0.000	0.40	0.02	2.840	0.000
	prom	161.4	193.2	401.6	3216.0	7.586	0.04	0.07	0.87	519.2	3.6	0.092	0.002	0.24	0.01	1.728	0.006
LM 19	sd	48.5	105.0	192.3	1692.2	4.486	0.03	0.05	0.23	303.1	2.5	0.016	0.002	0.09	0.00	0.586	0.008
	rango	134.0	292.0	537.0	4660.0	11.810	0.08	0.14	0.64	808.0	6.9	0.040	0.004	0.25	0.01	1.580	0.020
	03-Oct	105.0	22.2	66.8	494.0	3.040	0.03	1.58	0.70	151.0	21.7	0.060	0.000	0.10	0.00	0.610	0.000
	13-Nov	95.1	14.6	62.5	396.0	2.710	0.12	0.46	0.08	146.0	15.2	0.020	0.000	0.10	0.00	0.510	0.000
	11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	03-Abr	127.0	20.3	83.9	521.0	3.260	0.22	1.15	0.42	159.0	19.0	0.060	0.000	0.15	0.00	0.690	0.165
	28-May	117.0	17.4	77.6	485.0	3.100	0.04	0.41	0.90	182.0	9.9	0.060	0.000	0.15	0.00	0.570	0.000
	21-Jul	82.8	25.3	84.7	608.0	3.720	0.08	0.10	1.34	189.0	10.1	0.060	0.000	0.15	0.01	0.520	0.000
LM 20	prom	105.4	20.0	75.1	500.8	3.166	0.10	0.74	0.69	165.4	15.2	0.052	0.000	0.13	0.00	0.580	0.033
	sd	15.6	3.7	9.0	68.1	0.330	0.07	0.54	0.43	17.1	4.7	0.016	0.000	0.02	0.00	0.066	0.066
	rango	44.2	10.7	22.2	212.0	1.010	0.19	1.48	1.26	43.0	11.8	0.040	0.000	0.05	0.01	0.180	0.165
	03-Oct	136.0	60.2	157.0	980.0	4.050	0.02	0.00	0.02	306.0	7.8	0.180	0.004	0.10	0.00	1.140	0.000
	13-Nov	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	03-Abr	163.0	39.2	131.0	762.0	3.770	0.08	0.51	0.78	245.0	3.0	0.080	0.004	0.10	0.01	1.050	0.920
	28-May	163.0	107.0	275.0	1970.0	8.560	0.02	0.87	0.92	508.0	2.6	0.160	0.000	0.15	0.01	1.300	0.000
LM 20	21-Jul	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	prom	154.0	68.8	187.7	1237.3	5.460	0.04	0.46	0.57	353.0	4.5	0.140	0.003	0.12	0.01	1.163	0.307
	sd	12.7	28.3	62.7	525.7	2.195	0.03	0.36	0.40	112.4	2.4	0.043	0.002	0.02	0.00	0.103	0.434
	rango	27.0	67.8	144.0	1208.0	4.790	0.06	0.87	0.90	263.0	5.2	0.100	0.004	0.05	0.01	0.250	0.920

ANEXO II. ELEMENTOS OBTENIDOS CON ICP (mg/l) (continuación).

		Mayores				Mayores secundarios						Traza					
		Ca	K	Mg	Na	B	Fe	Mn	P	S	Si	Ba	Cu	Li	Mo	Sr	Zn
LM 21	03-Oct	253.0	97.7	279.0	1320.0	7.290	0.00	3.98	0.98	575.0	5.8	0.140	0.004	0.10	0.00	1.770	0.000
	13-Nov	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	03-Abr	155.0	56.6	138.0	812.0	3.170	0.07	1.02	1.54	200.0	10.4	0.100	0.000	0.10	0.00	0.990	0.020
	28-May	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	21-Jul	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	prom	204.0	77.2	208.5	1066.0	5.230	0.04	2.50	1.26	387.5	8.1	0.120	0.002	0.10	0.00	1.380	0.010
	sd	49.0	20.6	70.5	254.0	2.060	0.04	1.48	0.28	187.5	2.3	0.020	0.002	0.00	0.00	0.390	0.010
	rango	98.0	41.1	141.0	508.0	4.120	0.07	2.96	0.56	375.0	4.6	0.040	0.004	0.00	0.00	0.780	0.020
LM 22	03-Oct	127.0	83.2	163.0	1110.0	3.140	0.00	0.00	0.60	192.0	6.5	0.080	0.004	0.15	0.00	1.060	0.000
	13-Nov	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	03-Abr	159.0	14.2	144.0	246.0	0.566	0.00	0.00	3.44	49.0	39.0	0.060	0.014	0.00	0.00	0.690	0.015
	28-May	106.0	3.4	37.8	220.0	2.310	0.03	0.03	0.96	73.0	15.7	0.020	0.000	0.15	0.00	0.390	0.000
	21-Jul	110.0	7.3	43.0	240.0	2.460	0.11	1.21	2.00	70.0	15.6	0.040	0.000	0.15	0.00	0.440	0.000
	prom	116.5	43.3	100.4	665.0	2.725	0.02	0.02	0.78	132.5	11.1	0.050	0.002	0.15	0.00	0.725	0.000
	sd	10.5	39.9	62.6	445.0	0.415	0.02	0.02	0.18	59.5	4.6	0.030	0.002	0.00	0.00	0.335	0.000
	rango	21.0	79.8	125.2	890.0	0.830	0.03	0.03	0.36	119.0	9.2	0.060	0.004	0.00	0.00	0.670	0.000
LM 23	03-Oct	170.0	37.3	184.0	666.0	1.010	0.00	0.02	1.48	67.0	23.1	0.100	0.006	0.00	0.01	0.810	0.000
	13-Nov	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	11-Feb	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	03-Abr	74.3	19.9	58.0	279.0	0.958	0.03	0.06	1.24	47.0	15.5	0.040	0.004	0.00	0.02	0.290	0.000
	28-May	134.0	22.8	138.0	469.0	1.030	0.04	0.33	2.50	53.0	27.6	0.080	0.000	0.00	0.01	0.510	0.010
	21-Jul	159.0	23.6	182.0	575.0	1.050	0.10	0.10	3.58	63.0	27.5	0.080	0.000	0.00	0.01	0.610	0.010
	prom	134.3	25.9	140.5	497.3	1.012	0.04	0.13	2.20	57.5	23.4	0.075	0.003	0.00	0.01	0.555	0.005
	sd	37.0	6.7	51.1	144.0	0.034	0.04	0.12	0.93	7.9	4.9	0.022	0.003	0.00	0.00	0.187	0.005
	rango	95.7	17.4	126.0	387.0	0.092	0.10	0.31	2.34	20.0	12.1	0.060	0.006	0.00	0.01	0.520	0.010

ANEXO III. COTEJO DE RESULTADOS DE S Y SO₄.

	S		O ₄		SO ₄ calculado	SO ₄ analizado	SO ₄ calc. / SO ₄ anal.	
	mg/l	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)	
Octubre 2003	LM 01	50.0	9.356	-12.475	99.8	149.8	161.0	93.0
	LM 02	157.0	29.379	-39.172	313.4	470.4	471.0	99.9
	LM 03	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 04	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 05	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 06	96.0	17.964	-23.952	191.6	287.6	336.0	85.6
	LM 07	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 08	42.0	7.859	-10.479	83.8	125.8	137.0	91.8
	LM 09	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 10	44.0	8.234	-10.978	87.8	131.8	sin dato	sin dato
	LM 11	43.0	8.046	-10.729	85.8	128.8	135.0	95.4
	LM 12	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 13	94.0	17.590	-23.453	187.6	281.6	316.0	89.1
	LM 14	56.0	10.479	-13.972	111.8	167.8	178.0	94.3
	LM 15	103.0	19.274	-25.699	205.6	308.6	327.0	94.4
	LM 16	65.0	12.163	-16.218	129.7	194.7	214.0	91.0
	LM 17	283.0	52.957	-70.609	564.8	847.8	933.0	90.9
	LM 18	433.0	81.025	-108.034	864.2	1297.2	1380.0	94.0
	LM 19	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 20	306.0	57.260	-76.347	610.7	916.7	909.0	100.9
	LM 21	575.0	107.597	-143.463	1147.6	1722.6	1760.0	97.9
	LM 22	192.0	35.928	-47.904	383.2	575.2	584.0	98.5
	LM 23	67.0	12.537	-16.717	133.7	200.7	232.0	86.5
Noviembre 2003	LM 01	38.0	7.111	-9.481	75.8	113.8	106.0	107.4
	LM 02	153.0	28.630	-38.174	305.4	458.4	448.0	102.3
	LM 03	236.0	44.2	-58.9	471.0	707.0	722.0	97.9
	LM 04	94.0	17.6	-23.5	187.6	281.6	314.0	89.7
	LM 05	96.0	18.0	-24.0	191.6	287.6	334.0	86.1
	LM 06	91.0	17.028	-22.705	181.6	272.6	311.0	87.7
	LM 07	93.0	17.4	-23.2	185.6	278.6	312.0	89.3
	LM 08	44.0	8.234	-10.978	87.8	131.8	147.0	89.7
	LM 09	42.0	7.9	-10.5	83.8	125.8	136.0	92.5
	LM 10	39.0	7.298	-9.731	77.8	116.8	132.00	88.5
	LM 11	41.0	7.672	-10.230	81.8	122.8	145.0	84.7
	LM 12	43.0	8.0	-10.7	85.8	128.8	151.0	85.3
	LM 13	88.0	16.467	-21.956	175.6	263.6	320.0	82.4
	LM 14	62.0	11.602	-15.469	123.7	185.7	216.0	86.0
	LM 15	95.0	17.777	-23.703	189.6	284.6	336.0	84.7
	LM 16	54.0	10.105	-13.473	107.8	161.8	185.0	87.4
	LM 17	293.0	54.828	-73.104	584.8	877.8	891.0	98.5
	LM 18	387.0	72.418	-96.557	772.4	1159.4	1180.0	98.3
	LM 19	146.0	27.3	-36.4	291.4	437.4	452.0	96.8
	LM 20	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 21	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 22	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 23	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m

ANEXO III. COTEJO DE RESULTADOS DE S Y SO₄ (continuación)

	S		O ₄		SO ₄ calculado	SO ₄ analizado	SO ₄ calc. / SO ₄ anal.	
	mg/l	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)	
Febrero 2004	LM 01	45.0	8.421	-11.228	89.8	134.8	131.3	102.7
	LM 02	156.0	29.192	-38.922	311.4	467.4	439.6	106.3
	LM 03	237.0	44.3	-59.1	473.0	710.0	741.3	95.8
	LM 04	101.0	18.9	-25.2	201.6	302.6	327.0	92.5
	LM 05	94.0	17.6	-23.5	187.6	281.6	306.4	91.9
	LM 06	85.0	15.906	-21.208	169.7	254.7	289.4	88.0
	LM 07	133.0	24.9	-33.2	265.5	398.5	377.5	105.5
	LM 08	44.0	8.234	-10.978	87.8	131.8	135.6	97.2
	LM 09	36.0	6.7	-9.0	71.9	107.9	100.6	107.2
	LM 10	33.0	6.175	-8.234	65.9	98.9	104.47	94.6
	LM 11	39.0	7.298	-9.731	77.8	116.8	127.4	91.7
	LM 12	46.0	8.6	-11.5	91.8	137.8	147.5	93.4
	LM 13	96.0	17.964	-23.952	191.6	287.6	294.5	97.7
	LM 14	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 15	123.0	23.016	-30.689	245.5	368.5	368.8	99.9
	LM 16	61.0	11.415	-15.220	121.7	182.7	171.9	106.3
	LM 17	270.0	50.524	-67.365	538.9	808.9	849.8	95.2
	LM 18	344.0	64.371	-85.828	686.6	1030.6	1003.3	102.7
	LM 19	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 20	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 21	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 22	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 23	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
Abril 2004	LM 01	49.0	9.169	-12.226	97.8	146.8	131.9	111.3
	LM 02	148.0	27.695	-36.926	295.4	443.4	471.1	94.1
	LM 03	239.0	44.7	-59.6	477.0	716.0	769.6	93.0
	LM 04	120.0	22.5	-29.9	239.5	359.5	357.4	100.6
	LM 05	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 06	95.0	17.777	-23.703	189.6	284.6	337.8	84.2
	LM 07	25.0	4.7	-6.2	49.9	74.9	72.6	103.2
	LM 08	49.0	9.169	-12.226	97.8	146.8	156.2	94.0
	LM 09	40.0	7.5	-10.0	79.8	119.8	118.2	101.4
	LM 10	39.0	7.298	-9.731	77.8	116.8	115.56	101.1
	LM 11	45.0	8.421	-11.228	89.8	134.8	136.1	99.0
	LM 12	51.0	9.5	-12.7	101.8	152.8	157.6	96.9
	LM 13	94.0	17.590	-23.453	187.6	281.6	308.6	91.2
	LM 14	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 15	125.0	23.391	-31.188	249.5	374.5	407.0	92.0
	LM 16	69.0	12.912	-17.216	137.7	206.7	219.0	94.4
	LM 17	260.0	48.653	-64.870	518.9	778.9	838.2	92.9
	LM 18	312.0	58.383	-77.844	622.7	934.7	933.7	100.1
	LM 19	159.0	29.8	-39.7	317.3	476.3	510.0	93.4
	LM 20	245.0	45.846	-61.128	489.0	734.0	750.1	97.9
	LM 21	200.0	37.425	-49.900	399.2	599.2	603.1	99.4
	LM 22	49.0	9.169	-12.226	97.8	146.8	288.9	50.8
	LM 23	47.0	8.795	-11.727	93.8	140.8	123.0	114.5

ANEXO III. COTEJO DE RESULTADOS DE S Y SO₄ (continuación)

	S		O ₄		SO ₄ calculado	SO ₄ analizado	SO ₄ calc. / SO ₄ anal.	
	mg/l	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l	mg/l	(%)	
Mayo 2004	LM 01	88.0	16.467	-21.956	175.6	263.6	125.7	209.7
	LM 02	146.0	27.320	-36.427	291.4	437.4	414.9	105.4
	LM 03	234.0	43.8	-58.4	467.0	701.0	741.2	94.6
	LM 04	130.0	24.3	-32.4	259.5	389.5	372.8	104.5
	LM 05	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 06	79.0	14.783	-19.711	157.7	236.7	267.7	88.4
	LM 07	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 08	49.0	9.169	-12.226	97.8	146.8	146.7	100.1
	LM 09	37.0	6.9	-9.2	73.8	110.8	103.0	107.6
	LM 10	37.0	6.924	-9.232	73.8	110.8	107.12	103.5
	LM 11	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 12	36.0	6.7	-9.0	71.9	107.9	102.7	105.0
	LM 13	180.0	33.683	-44.910	359.3	539.3	560.9	96.1
	LM 14	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 15	180.0	33.683	-44.910	359.3	539.3	543.4	99.2
	LM 16	54.0	10.105	-13.473	107.8	161.8	182.5	88.6
	LM 17	332.0	62.126	-82.834	662.6	994.6	930.0	106.9
	LM 18	536.0	100.299	-133.733	1069.8	1605.8	1724.6	93.1
	LM 19	182.0	34.1	-45.4	363.3	545.3	540.5	100.9
	LM 20	508.0	95.060	-126.747	1013.9	1521.9	1611.3	94.5
	LM 21	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 22	73.0	13.660	-18.214	145.7	218.7	242.5	90.2
	LM 23	53.0	9.918	-13.224	105.8	158.8	171.6	92.5
Julio 2004	LM 01	66.0	12.350	-16.467	131.7	197.7	216.6	91.3
	LM 02	166.0	31.063	-41.417	331.3	497.3	501.0	99.3
	LM 03	230.0	43.039	-57.385	459.1	689.1	713.7	96.6
	LM 04	132.0	24.701	-32.934	263.5	395.5	391.7	101.0
	LM 05	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 06	83.0	15.531	-20.709	165.7	248.7	282.9	87.9
	LM 07	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 08	47.0	8.795	-11.727	93.8	140.8	156.6	89.9
	LM 09	37.0	6.924	-9.232	73.8	110.8	106.4	104.1
	LM 10	31.0	5.801	-7.735	61.9	92.9	95.4	97.4
	LM 11	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 12	35.0	6.549	-8.733	69.9	104.9	136.6	76.8
	LM 13	445.0	83.271	-111.028	888.2	1333.2	1473.1	90.5
	LM 14	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 15	398.0	74.476	-99.301	794.4	1192.4	1311.7	90.9
	LM 16	48.0	8.982	-11.976	95.8	143.8	155.4	92.5
	LM 17	462.0	86.452	-115.269	922.1	1384.1	1514.2	91.4
	LM 18	1120.0	209.581	-279.441	2235.4	3355.4	3936.7	85.2
	LM 19	189.0	35.367	-47.156	377.2	566.2	555.1	102.0
	LM 20	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 21	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m	s.m
	LM 22	70.0	13.099	-17.465	139.7	209.7	262.5	79.9
	LM 23	63.0	11.789	-15.719	125.7	188.7	221.5	85.2

ANEXO IV. CÁLCULO DE SiO₂ A PARTIR DE Si.

	Si		O ₂		SiO ₂	
	mg/l	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l	
Octubre	LM 01	34.9	4.970	-4.970	39.8	74.7
	LM 02	30.4	4.330	-4.330	34.6	65.0
	LM 03	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 04	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 05	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 06	11.2	1.595	-1.595	12.8	24.0
	LM 07	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 08	14.9	2.122	-2.122	17.0	31.9
	LM 09	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 10	14.7	2.094	-2.094	16.7	31.4
	LM 11	16.0	2.279	-2.279	18.2	34.2
	LM 12	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 13	19.2	2.734	-2.734	21.9	41.1
	LM 14	9.5	1.353	-1.353	10.8	20.3
	LM 15	14.1	2.008	-2.008	16.1	30.2
	LM 16	15.2	2.165	-2.165	17.3	32.5
	LM 17	6.8	0.968	-0.968	7.7	14.5
	LM 18	1.7	0.242	-0.242	1.9	3.6
	LM 19	21.7	3.091	-3.091	24.7	46.4
	LM 20	7.8	1.111	-1.111	8.9	16.7
	LM 21	5.8	0.826	-0.826	6.6	12.4
	LM 22	6.5	0.926	-0.926	7.4	13.9
	LM 23	23.1	3.290	-3.290	26.3	49.4
Noviembre	LM 01	37.8	5.383	-5.383	43.1	80.9
	LM 02	32.9	4.686	-4.686	37.5	70.4
	LM 03	11.3	1.609	-1.609	12.9	24.2
	LM 04	13.2	1.880	-1.880	15.0	28.2
	LM 05	20.3	2.891	-2.891	23.1	43.4
	LM 06	11.1	1.581	-1.581	12.6	23.7
	LM 07	10.6	1.510	-1.510	12.1	22.7
	LM 08	15.1	2.151	-2.151	17.2	32.3
	LM 09	16.6	2.364	-2.364	18.9	35.5
	LM 10	14.3	2.037	-2.037	16.3	30.6
	LM 11	14.8	2.108	-2.108	16.9	31.7
	LM 12	22.2	3.162	-3.162	25.3	47.5
	LM 13	13.8	1.965	-1.965	15.7	29.5
	LM 14	5.2	0.741	-0.741	5.9	11.1
	LM 15	9.0	1.282	-1.282	10.3	19.3
	LM 16	14.5	2.065	-2.065	16.5	31.0
	LM 17	3.3	0.470	-0.470	3.8	7.1
	LM 18	3.1	0.442	-0.442	3.5	6.6
	LM 19	15.2	2.165	-2.165	17.3	32.5
	LM 20	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 21	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 22	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 23	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
Febrero	LM 01	35.0	4.985	-4.985	39.9	74.9
	LM 02	30.0	4.273	-4.273	34.2	64.2
	LM 03	11.0	1.567	-1.567	12.5	23.5
	LM 04	13.8	1.965	-1.965	15.7	29.5
	LM 05	21.5	3.062	-3.062	24.5	46.0
	LM 06	10.8	1.538	-1.538	12.3	23.1
	LM 07	12.0	1.709	-1.709	13.7	25.7
	LM 08	14.7	2.094	-2.094	16.7	31.4
	LM 09	14.8	2.108	-2.108	16.9	31.7
	LM 10	13.1	1.866	-1.866	14.9	28.0
	LM 11	14.0	1.994	-1.994	16.0	30.0
	LM 12	18.8	2.677	-2.677	21.4	40.2
	LM 13	9.4	1.339	-1.339	10.7	20.1
	LM 14	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 15	12.1	1.723	-1.723	13.8	25.9
	LM 16	16.2	2.307	-2.307	18.5	34.7
	LM 17	7.7	1.097	-1.097	8.8	16.5
	LM 18	7.2	1.025	-1.025	8.2	15.4
	LM 19	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 20	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 21	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 22	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 23	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
Abril	LM 01	36.8	5.241	-5.241	83.9	120.7
	LM 02	34.4	4.899	-4.899	78.4	112.8
	LM 03	11.7	1.666	-1.666	26.7	38.4
	LM 04	14.2	2.022	-2.022	32.4	46.6
	LM 05	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 06	12.6	1.794	-1.794	28.7	41.3
	LM 07	6.5	0.926	-0.926	14.8	21.3
	LM 08	16.0	2.279	-2.279	36.5	52.5
	LM 09	16.4	2.336	-2.336	37.4	53.8
	LM 10	15.1	2.151	-2.151	34.4	49.5
	LM 11	16.6	2.364	-2.364	37.8	54.4
	LM 12	23.3	3.318	-3.318	53.1	76.4
	LM 13	20.7	2.948	-2.948	47.2	67.9
	LM 14	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
	LM 15	9.9	1.410	-1.410	22.6	32.5
	LM 16	31.6	4.500	-4.500	72.0	103.6
	LM 17	7.9	1.125	-1.125	18.0	25.9
	LM 18	5.5	0.783	-0.783	12.5	18.0
	LM 19	19.0	2.706	-2.706	43.3	62.3
	LM 20	3.0	0.427	-0.427	6.8	9.8
	LM 21	10.4	1.481	-1.481	23.7	34.1
	LM 22	39.0	5.554	-5.554	88.9	127.9
	LM 23	15.5	2.208	-2.208	35.3	50.8

ANEXO IV. CÁLCULO DE SiO₂ A PARTIR DE Si (continuación).

	Si		O2		SiO2
	mg/l	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l
LM 01	15.1	2.151	-2.151	34.4	49.5
LM 02	34.6	4.928	-4.928	78.8	113.4
LM 03	13.0	1.851	-1.851	29.6	42.6
LM 04	15.5	2.208	-2.208	35.3	50.8
LM 05	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 06	9.5	1.353	-1.353	21.6	31.1
LM 07	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 08	16.0	2.279	-2.279	36.5	52.5
LM 09	14.6	2.079	-2.079	33.3	47.9
LM 10	15.6	2.222	-2.222	35.5	51.1
LM 11	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 12	23.9	3.404	-3.404	54.5	78.4
LM 13	7.1	1.011	-1.011	16.2	23.3
LM 14	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 15	12.0	1.709	-1.709	27.3	39.3
LM 16	15.0	2.136	-2.136	34.2	49.2
LM 17	3.4	0.484	-0.484	7.7	11.1
LM 18	4.4	0.627	-0.627	10.0	14.4
LM 19	9.9	1.410	-1.410	22.6	32.5
LM 20	2.6	0.370	-0.370	5.9	8.5
LM 21	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 22	15.7	2.236	-2.236	35.8	51.5
LM 23	27.6	3.931	-3.931	62.9	90.5

Mayo

	Si		O2		SiO2
	mg/l	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l
LM 01	32.2	4.586	-4.586	73.4	105.6
LM 02	28.4	4.045	-4.045	64.7	93.1
LM 03	10.9	1.552	-1.552	24.8	35.7
LM 04	12.9	1.837	-1.837	29.4	42.3
LM 05	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 06	9.7	1.381	-1.381	22.1	31.8
LM 07	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 08	14.9	2.122	-2.122	34.0	48.9
LM 09	15.8	2.250	-2.250	36.0	51.8
LM 10	13.7	1.951	-1.951	31.2	44.9
LM 11	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 12	20.5	2.920	-2.920	46.7	67.2
LM 13	2.1	0.299	-0.299	4.8	6.9
LM 14	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 15	9.6	1.367	-1.367	21.9	31.5
LM 16	15.0	2.136	-2.136	34.2	49.2
LM 17	6.8	0.968	-0.968	15.5	22.3
LM 18	0.3	0.043	-0.043	0.7	1.0
LM 19	10.1	1.438	-1.438	23.0	33.1
LM 20	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 21	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.	s.m.
LM 22	15.6	2.222	-2.222	35.5	51.1
LM 23	27.5	3.917	-3.917	62.7	90.2

Julio

ANEXO V. ABUNDANCIA PERCENTIL DE IONES.

		OCTUBRE 2003						
		Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃
POZOS Y NORIAS	LM01	34.44	1.30	38.82	25.44	68.99	11.40	19.60
	LM02	50.89	1.05	24.84	23.23	55.70	26.67	17.63
	LM03	-	-	-	-	-	-	-
	LM04	-	-	-	-	-	-	-
	LM05	-	-	-	-	-	-	-
	LM06	79.56	0.29	10.94	9.21	64.53	16.38	19.09
	LM12	-	-	-	-	-	-	-
	LM07	-	-	-	-	-	-	-
	LM16	-	-	-	-	-	-	-
	LM23	54.11	1.78	28.27	15.84	71.63	9.74	18.63
C E S P E	LM08	74.70	0.89	6.27	18.14	66.19	22.39	11.42
	LM09	-	-	-	-	-	-	-
	LM10	-	-	-	-	-	-	-
AGUA SUPERFICIAL	LM13	56.47	1.23	14.18	28.12	54.74	37.89	7.37
	LM14	62.63	0.99	12.25	24.13	60.04	21.32	18.64
	LM15	57.93	0.86	16.72	24.48	56.72	34.23	9.05
	LM17	76.08	2.28	17.01	4.63	80.77	16.51	2.72
	LM18	74.52	2.67	18.03	4.78	82.06	15.92	2.02
	LM19	65.53	1.73	16.76	15.98	52.04	30.66	17.31
	LM20	66.74	2.41	20.22	10.63	69.28	28.17	2.55
	LM21	60.13	2.62	24.03	13.22	57.46	38.08	4.46
	LM22	68.82	3.03	19.11	9.03	77.36	16.84	5.79

		NOVIEMBRE 2003						
		Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃
		34.00	1.31	38.86	25.83	63.04	8.30	28.65
		51.29	1.03	24.97	22.72	52.95	25.16	21.89
		45.34	0.55	25.61	28.51	67.00	20.64	12.36
		53.50	0.63	19.20	26.66	50.32	20.25	29.43
		46.18	0.57	23.04	30.20	51.03	25.41	23.56
		79.16	0.30	10.96	9.58	63.96	15.41	20.63
		76.90	0.92	4.00	18.19	68.08	17.94	13.98
		41.72	1.79	17.19	39.31	34.22	31.65	34.12
		80.45	3.83	8.49	7.23	59.98	12.04	27.98
		-	-	-	-	-	-	-
		73.94	0.92	6.21	18.94	64.37	22.03	13.60
		64.30	1.25	10.69	23.76	58.00	21.41	20.59
		62.62	1.21	10.40	25.77	60.25	20.17	19.58
		57.18	0.95	13.72	28.15	53.26	36.15	10.58
		58.31	2.35	15.09	23.74	56.33	21.69	21.98
		52.31	0.96	17.36	29.37	53.09	33.85	13.07
		74.55	2.49	18.44	4.52	80.68	15.98	3.34
		74.72	2.62	18.32	4.33	81.14	15.30	3.56
		62.67	1.36	18.71	17.27	51.22	32.74	16.05
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
		FEBRERO 2004						
		Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃
		30.31	1.08	41.21	27.40	69.49	9.00	21.51
		47.40	0.90	26.69	25.01	55.67	24.81	19.52
		44.01	0.49	26.55	28.95	69.28	20.55	10.17
		50.87	0.55	20.96	27.63	54.37	20.69	24.93
		44.85	0.50	25.53	29.12	54.38	24.16	21.46
		80.66	0.28	10.06	9.01	66.92	14.48	18.59
		72.34	0.86	4.97	21.82	73.07	17.21	9.72
		81.24	0.58	19.34	38.84	34.01	32.43	33.57
		81.13	3.53	8.55	6.80	59.80	10.83	29.37
		-	-	-	-	-	-	-
		70.83	0.81	7.11	21.26	69.89	21.48	8.63
		62.48	1.15	11.31	25.06	60.03	19.80	20.17
		62.99	1.15	10.65	25.21	64.95	17.83	17.22
		59.49	2.38	13.23	24.90	55.64	34.88	9.48
		-	-	-	-	-	-	-
		49.76	1.23	16.82	32.18	51.86	36.92	11.22
		73.16	2.37	18.07	6.40	79.47	17.01	3.52
		73.83	2.60	18.23	5.34	81.26	15.24	3.50
		-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	

ANEXO V. ABUNDANCIA PERCENTIL DE IONES (continuación).

		ABRIL 2004							MAYO 2004							JULIO 2004						
		Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃
POZOS Y NORIAS	LM01	35.53	1.31	38.32	24.84	70.17	9.44	20.39	36.71	1.41	39.70	22.18	71.06	9.53	19.41	34.49	1.11	39.22	25.18	69.69	11.98	18.33
	LM02	50.61	0.98	25.28	23.13	57.23	24.44	18.32	49.25	0.91	26.03	23.81	56.98	23.02	20.00	46.34	0.88	27.10	25.68	54.67	25.11	20.22
	LM03	44.93	0.51	25.72	28.83	69.56	20.47	9.97	47.50	0.53	24.73	27.24	69.50	20.11	10.39	42.68	0.45	27.06	29.82	68.82	19.58	11.60
	LM04	51.78	0.55	21.41	26.26	54.83	21.03	24.14	52.30	0.58	21.12	26.00	54.34	21.30	24.36	48.76	0.49	20.97	29.78	53.24	21.47	25.29
	LM05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LM06	78.28	0.25	11.33	10.14	67.26	15.73	17.01	82.96	0.24	8.96	7.83	69.38	13.08	17.54	81.87	0.25	9.50	8.39	65.36	13.70	20.94
	LM12	75.25	0.87	4.21	19.67	72.52	16.75	10.73	79.27	0.81	3.10	16.82	72.02	12.98	15.00	77.53	0.84	3.02	18.61	64.43	16.73	18.84
	LM07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LM16	77.54	3.60	10.13	8.73	61.02	14.13	24.85	77.68	3.53	10.15	8.64	65.14	13.07	21.79	79.31	3.43	9.32	7.94	65.25	11.55	23.20
C E S P E	LM23	57.45	2.41	22.59	17.55	48.70	11.49	39.81	52.28	1.49	29.09	17.14	70.05	8.86	21.09	51.54	1.24	30.86	16.35	69.40	8.81	21.79
	LM08	71.33	0.84	7.01	20.83	69.76	22.00	8.23	72.54	0.82	6.86	19.78	69.90	21.11	8.99	71.81	0.77	7.06	20.36	70.58	21.50	7.92
	LM09	63.66	1.14	11.19	24.01	61.46	19.91	18.62	65.12	1.13	10.63	23.13	63.90	16.78	19.32	63.22	1.04	11.28	24.45	61.30	18.18	20.52
	LM10	64.45	1.18	10.62	23.75	64.81	18.18	17.01	64.05	1.08	11.07	23.80	61.32	18.63	20.05	68.79	1.19	8.67	21.34	68.08	15.90	16.02
AGUA SUPERFICIAL	LM13	57.53	1.31	14.61	26.56	58.36	33.35	8.29	51.95	1.27	15.70	31.08	51.93	42.52	5.55	52.37	1.94	15.93	29.76	43.66	53.38	2.96
	LM14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LM15	49.86	1.08	17.40	31.66	53.24	36.89	9.87	53.96	0.53	17.29	28.22	54.33	38.24	7.44	59.06	0.84	12.49	27.61	60.37	38.10	1.53
	LM17	74.91	2.24	17.48	5.37	78.82	18.29	2.89	74.80	2.54	17.29	5.37	80.57	17.74	1.70	75.40	2.72	17.23	4.64	76.79	20.36	2.84
	LM18	74.11	2.47	17.91	5.50	80.86	17.10	2.04	-	-	-	-	-	-	-	76.61	2.75	17.22	3.43	78.49	20.39	1.12
	LM19	62.22	1.43	18.95	17.40	54.32	32.04	13.64	62.48	1.32	18.91	17.29	53.93	33.06	13.02	69.25	1.69	18.24	10.82	54.21	29.14	16.65
	LM20	62.47	1.89	20.31	15.33	69.03	27.48	3.49	71.90	2.30	18.98	6.82	72.48	25.78	1.74	-	-	-	-	-	-	-
	LM21	63.24	2.59	20.32	13.85	78.07	21.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LM22	-	-	-	-	-	-	-	53.00	0.48	17.22	29.29	58.23	27.93	13.84	-	-	-	-	-	-	-